



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**ESTIMASI RADIASI MATAHARI PER JAM PADA  
PERMUKAAN HORIZONTAL DENGAN *ADAPTIVE  
NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS)  
(STUDI KASUS DI SURABAYA)**

**ISNAN ABDURRAHMAN**  
NRP. 2413 100 108

Dosen Pembimbing  
**Ir. Matradji, M.Sc.**

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TF 141581

***ESTIMATION OF HOURLY SOLAR RADIATION ON  
HORIZONTAL SURFACE WITH ADAPTIVE NEURO  
FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) (CASE STUDY  
IN SURABAYA)***

ISNAN ABDURRAHMAN  
NRP. 2413 100 108

Supervisor  
Ir. Matradji, M.Sc.

Study Program S1 Department Of Engineering Physics  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Isnan Abdurrahman

NRP : 2413100108

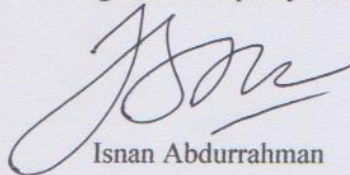
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “ESTIMASI RADIASI MATAHARI PER JAM PADA PERMUKAAN HORIZONTAL DENGAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS) (STUDI KASUS DI SURABAYA)” adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Juli 2017

Yang membuat pernyataan,



Isnan Abdurrahman

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**“ESTIMASI RADIASI MATAHARI PER JAM PADA  
PERMUKAAN HORIZONTAL DENGAN *ADAPTIVE  
NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS) (STUDI  
KASUS DI SURABAYA)”**

Oleh :

**Isnan Abdurrahman**

**NRP. 2413 100 108**

**Surabaya, Juli 2017**

**Menyetujui,**

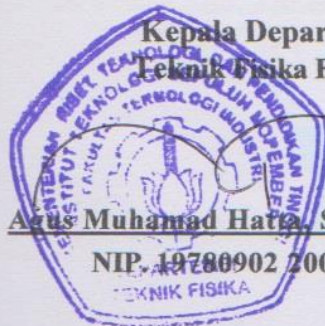
**Dosen Pembimbing**



**Ir. Matradji, M.Sc.**

**NIP: 19560720 198503 1 003**

**Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, S.T, M.Si., Ph.D.**

**NIP. 19780902 200312 1 002**

## LEMBAR PENGESAHAN

### **“ESTIMASI RADIASI MATAHARI PER JAM PADA PERMUKAAN HORIZONTAL DENGAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS) (STUDI KASUS DI SURABAYA)”**

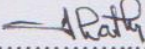
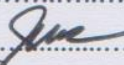
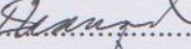

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi S1 Teknik Fisika  
Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ISNAN ABDURRAHMAN**  
**NRP. 2413 100 108**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Matradji, M.Sc..........Dosen Pembimbing
2. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc..........Ketua Tim Penguji
3. Ir. Tutug Dhanardono, M.T..........Dosen Penguji I
4. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T..........Dosen Penguji II

**SURABAYA**  
**Juli 2017**

**ESTIMASI RADIASI MATAHARI PER JAM PADA  
PERMUKAAN HORIZONTAL DENGAN *ADAPTIVE NEURO  
FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS) (STUDI KASUS DI  
SURABAYA)**

<b>Nama Mahasiswa</b>	<b>: Isnan Abdurrahman</b>
<b>NRP</b>	<b>: 2413 100 108</b>
<b>Departemen</b>	<b>: Teknik Fisika FTI-ITS</b>
<b>Dosen Pembimbing</b>	<b>: Ir. Matradji, MSc.</b>

**Abstrak**

*Sumber energi matahari merupakan salah satu sumber energi alam yang selalu tersedia dan memiliki energi yang besar. Energi matahari dapat memancarkan radiasi yang umumnya dikenal sebagai radiasi matahari. Radiasi matahari dapat dimanfaatkan menjadi energi alternatif yaitu berupa energi listrik dengan bantuan Photovoltaic yang mana saat ini hampir seluruh komponen memerlukan sumber energi listrik. Radiasi matahari dapat diukur dengan alat ukur yang bernama phyranometer. Phyranometer termasuk alat ukur yang memiliki harga relatif mahal dibanding alat ukur lainnya. Sehingga memunculkan penelitian untuk mendapatkan estimasi radiasi matahari perjamnya pada photovoltaic. Estimasi ini menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) untuk memodelkan estimator radiasi matahari. ANFIS merupakan sistem inferensi fuzzy berbasis jaringan saraf adaptif yang mengadopsi sistem pembelajaran dari jaringan syaraf tiruan. Penelitian ini menggunakan ANFIS pelatihan dengan algoritma hybrid. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode ANFIS memiliki nilai Root Mean Square Error (RMSE) dan Mean Absolute Error (MAE) yang lebih kecil dibandingkan dengan metode ELM dari jaringan syaraf tiruan. Dari kedua metode yang digunakan yaitu ELM dan ANFIS untuk metode ELM memiliki nilai RMSE sebesar 15,42 dan dengan metode ANFIS didapatkan nilai RMSE sebesar 0,87. Selain itu untuk*

*nilai MAE pada metode ELM diperoleh sebesar 11,72 dan untuk metode ANFIS diperoleh sebesar 0,22.*

***Kata kunci: adaptive neuro fuzzy inference system, estimasi, extreme learning machine, radiasi matahari.***

# **ESTIMATION OF HOURLY SOLAR RADIATION ON HORIZONTAL SURFACE WITH ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) (CASE STUDY IN SURABAYA)**

<b>Name</b>	<b>: Isnan Abdurrahman</b>
<b>NRP</b>	<b>: 2413 100 108</b>
<b>Department</b>	<b>: Teknik Fisika FTI-ITS</b>
<b>Supervisor</b>	<b>: Ir. Matradji, M.Sc.</b>

## **Abstract**

*The source of solar energy is one source of natural energy that is always available and has a great energy. Solar energy can emit radiation known as solar radiation. Solar radiation can be utilized into alternative energy that is electric energy with the help of Photovoltaic which is currently almost all devices require electrical energy. Solar radiation can be measured by a measuring device called pyranometer. Pyranometer is a measuring instrument that has a price more expensive than other measuring instruments. So research appears to get an estimated hourly solar radiation on photovoltaics. This estimate uses Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) to model the solar radiation estimator. ANFIS is a fuzzy inference system based on adaptive neural network that adopts learning system from artificial neural network. This study shows that the Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE) values of the ANFIS method have smaller values than the ELM method of artificial neural networks. Of the two methods used, for the ELM method has RMSE value of 15.42 and with ANFIS method has a RMSE value of 0.87. In addition, for the value of MAE in ELM method obtained by 11.72 and for ANFIS method obtained by 0.22.*

**Keywords:** *adaptive neuro fuzzy inference system, estimation, extreme learning machine, solar radiation.*



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

**“Estimasi Radiasi Matahari Perjam pada Permukaan  
Horizontal dengan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*  
(Studi Kasus di Surabaya)”**

Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS
2. Bapak Ir. Matradji, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam memberi bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc., selaku dosen wali penulis yang telah memberikan petunjuk, bimbingan, serta ilmu yang sangat bermanfaat.
4. Bapak Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. selaku dosen yang telah memberikan masukan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama penulis melaksanakan kuliah.
6. Seluruh staf Departemen Teknik Fisika yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
7. Seluruh staf BMKG Perak II Surabaya yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dan dukungan kepada penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
8. Bapak Agus Pranoto dan Ibu Neni Suryani selaku orang tua serta keluarga besar yang selalu memberikan do'a dan dukungan kepada penulis.
9. Teman-teman Pondok Pesantren Mahasiswa Khoirul Huda 2 yang selalu menjadi penyemangat penulis.

10. Teman-teman angkatan 2013 Teknik Fisika yang saling memberi semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 20 Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	 <b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	 <b>5</b>
2.1 Radiasi Matahari .....	5
2.2 Permukaan Horizontal.....	7
2.3 Metode Estimasi.....	8
 <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	 <b>19</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
3.2 Studi Literatur .....	20
3.3 Pengambilan Data .....	21
3.4 Pengambilan Data Tahap II ( <i>Data Real</i> ) .....	22
3.5 Pelatihan/ <i>Training</i> ANFIS .....	25
3.6 Percobaan Mencari Struktur ANFIS <i>Multi Input Single</i> <i>Output</i> (MISO).....	28
3.7 Percobaan Mendapatkan Model ANFIS Estimasi Radiasi Matahari.....	29
3.8 Percobaan Membandingkan Hasil Estimasi ANFIS dengan <i>Extreme Learning Machine</i> (ELM).....	30

<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Analisa Data .....	33
4.2 Analisa Percobaan .....	34
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>47</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>
LAMPIRAN A (LISTING PROGRAM) .....	
LAMPIRAN B (DATA PENGUKURAN EKSPERIMEN) .....	
LAMPIRAN C (PERBANDINGAN DATA AKTUAL DAN HASIL OUTPUT DENGAN METODE <i>EXTREME LEARNING MACHINE</i> (ELM) DAN <i>ADAPTIVE NEURO FUZZY</i> <i>INFERENCE SYSTEM</i> (ANFIS) .....	
LAMPIRAN D (ANFIS <i>Source Code</i> ) .....	
LAMPIRAN E (PENGUJIAN ESTIMASI BERDASARKAN MUSIM) .....	
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Distribusi radiasi matahari sampai permukaan bumi	6
Gambar 2.2 Posisi horizontal dan vertikal	7
Gambar 2.3 Pemetaan <i>input-output</i>	8
Gambar 2.4 Skema dasar <i>Fuzzy Logic</i>	8
Gambar 2.5 Representasi linier naik	9
Gambar 2.6 Representasi linier turun	10
Gambar 2.7 Representasi kurva Segitiga	11
Gambar 2.8 Representasi kurva Trapesium	11
Gambar 2.9 Representasi kurva <i>Generalized Bell</i>	12
Gambar 2.10 Representasi kurva <i>Gaussian</i>	13
Gambar 2.11 Struktur neuron Jaringan Syaraf Tiruan	14
Gambar 2.12 Struktur ANFIS	16
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2 Diagram alur pelatihan ( <i>training</i> ) ANFIS	26
Gambar 3.3 Diagram alur percobaan MISO	28
Gambar 3.4 Diagram alur perancangan model ANFIS	29
Gambar 3.5 Diagram alur percobaan membandingkan ANFIS dengan ELM	31
Gambar 4.1 Hasil percobaan P1 data BMKG	35
Gambar 4.2 Hasil percobaan P2 data BMKG	36
Gambar 4.3 Hasil percobaan P3 data BMKG	36
Gambar 4.4 Hasil percobaan P1 data <i>real</i> /eksperimen	39
Gambar 4.5 Hasil percobaan P2 data <i>real</i> /eksperimen	40
Gambar 4.6 Hasil percobaan P3 data <i>real</i> /eksperimen	41
Gambar 4.7 Hasil estimasi radiasi matahari ANFIS vs ELM	46

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 3.1 Contoh Rekap Data BMKG dalam Excel	21
Tabel 3.2 Informasi Titik Pengambilan Data Eksperimen	22
Tabel 3.3 Spesifikasi Pyranometer CMP 3	23
Tabel 3.4 Spesifikasi RH Meter HT-3015	24
Tabel 3.5 Spesifikasi Anemometer AM-4206	25
Tabel 4.1 Karakteristik Data BMKG	33
Tabel 4.2 Karakteristik Data <i>Real</i> /Eksperimen	34
Tabel 4.3 Skenario Percobaan <i>Multi Input Single Output</i> (BMKG)	35
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Estimasi P1,P2,dan P3 Data BMKG	37
Tabel 4.5 Perbandingan Percobaan P1, P2, dan P3 Data BMKG	38
Tabel 4.6 Skenario Percobaan <i>Multi Input Single Ouput</i> Menggunakan Data <i>Real</i>	39
Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Estimasi P1, P2, dan P3 (Data <i>Real</i> )	41
Tabel 4.8 Perbandingan Percobaan P1, P2, dan P3 Menggunakan Data <i>Real</i> / Eksperimen	43
Tabel 4.9 Hasil Pengujian ANFIS dengan Perbedaan Jenis Kurva <i>Membership Function</i>	44
Tabel 4.10 Hasil Model ANFIS dengan Perbedaan Jumlah <i>Membership Function</i>	45
Tabel 4.11 Model ANFIS untuk Estimasi	45
Tabel 4.12 Parameter Hasil Estimasi Radiasi Matahari	46



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi alam yang selalu tersedia dan memiliki energi yang besar. Energi matahari dapat memancarkan radiasi yang umumnya dikenal sebagai radiasi matahari. Radiasi matahari dapat dimanfaatkan menjadi energi alternatif yaitu berupa energi listrik dengan bantuan *Photovoltaic* yang mana saat ini hampir seluruh komponen memerlukan sumber energi listrik. Radiasi matahari dapat diukur dengan alat ukur yang bernama *pyranometer*. *Pyranometer* termasuk alat ukur yang memiliki harga relatif mahal dibanding alat ukur lainnya. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan estimator radiasi matahari sebagai pengganti dari *pyranometer*. Untuk mengetahui radiasi matahari yang diterima di permukaan wilayah Kota Surabaya dengan model estimator radiasi matahari maka diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai model estimator radiasi matahari agar menyesuaikan dengan kondisi cuaca yang ada di wilayah Kota Surabaya dan dapat membantu penelitian mengenai potensi pemasangan *Photovoltaic* di Kota Surabaya.

Diawali penelitian mengenai estimasi radiasi matahari yang dimulai dari penelitian Kassem dkk. yang berjudul “*Development of Neural Network Model to Estimate Hourly Total and Diffuse Solar Radiation on Horizontal Surface at Alexandria City (Egypt)*” dari penelitian tersebut didapatkan akurasi yang mencapai 93,09 % dari estimasi radiasi matahari perjamnya dengan menggunakan jaringan saraf *feedforward backpropagation* (Kassem, dkk., 2009).

Kemudian dilanjutkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Nur Ulfa H. yang berjudul “Estimasi radiasi matahari perjamnya dengan menggunakan jaringan saraf tiruan menggunakan metode ELM (*Extreme Learning Machine*)” dengan membandingkan hasil dari metode *feedforward backpropagation* dengan metode ELM. Dalam penelitian tersebut didapatkan dari kedua metode yang digunakan yaitu untuk metode *feedforward backpropagation*

memiliki nilai MSE (*Mean Square Error*) sebesar 0,3378 dan metode ELM didapatkan MSE sebesar 5,88E-14. Selain itu, untuk kecepatan pembelajaran (*learning speed*) pada proses pengujian (*testing*) untuk metode *feedforward backpropagation* memiliki durasi *learning speed* sebesar 0,2171 detik dan untuk metode ELM memiliki durasi *learning speed* sebesar 0,0156 detik dari estimasi radiasi matahari (Hidayatullah, 2014). Hal tersebut menunjukkan bahwasannya metode ELM lebih baik dalam hal akurasi dan *learning speed* dibandingkan dengan menggunakan metode *feedforward backpropagation*.

Salah satu permasalahan utama pada Jaringan Syaraf Tiruan yaitu proses pelatihan yang lama (pembentukan model jaringan), oleh sebab itu pemilihan konfigurasi jaringan (jumlah lapis tersembunyi (*hidden*), *neuron*, nilai momentum, *learning-rate*, fungsi aktivasi) yang tepat diperlukan untuk mempercepat proses pelatihan (Dhaneswara, 2004). Pada penelitian selanjutnya telah dikembangkan metode baru yaitu jaringan saraf tiruan yang diintegrasikan dengan sistem fuzzy yaitu dikenal dengan nama metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) (Santoso, 2016). ANFIS merupakan sistem inferensi fuzzy dengan berbasis jaringan saraf adaptif. Sehingga pada penelitian ini akan digunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* untuk estimasi radiasi matahari per jam pada permukaan horizontal (studi kasus di Kota Surabaya).

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, beberapa permasalahan yang akan dibahas pada penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

- a. Bagaimana menentukan parameter ANFIS *Multi Input Single Output* ?
- b. Bagaimana mendapatkan model ANFIS untuk estimasi radiasi matahari per jam pada permukaan horizontal?
- c. Bagaimana perbandingan hasil estimasi radiasi matahari per jam pada permukaan horizontal dengan menggunakan metode

## *Extreme Learning Machine dan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System?*

### **1.3 Tujuan**

Tujuan dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

- a. Menentukan parameter ANFIS *Multi Input Single Output*.
- b. Mendapatkan model ANFIS untuk estimasi radiasi matahari perjam pada permukaan horizontal.
- c. Mendapatkan perbandingan hasil estimasi radiasi matahari perjam pada permukaan horizontal dengan menggunakan metode *Extreme Learning Machine* dan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS).

### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

- a. Data yang diambil merupakan data sekunder yang didapat dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Perak II Surabaya.
- b. Pengambilan data BMKG dilakukan mulai dari bulan Januari 2015 sampai dengan bulan Agustus 2016 pada pukul 05.00 hingga 18.00 dan pengambilan data eksperimen dilakukan selama 5 hari pada rentang waktu antara pukul 08.00 hingga 16.00.
- c. Variabel *input* yang digunakan yaitu temperatur udara ( $^{\circ}\text{C}$ ), kelembapan relatif (%), arah angin ( $^{\circ}$ ), dan kecepatan angin (m/s).
- d. Variabel *output* yang digunakan yaitu intensitas radiasi matahari perjam ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).
- e. Hasil simulasi ELM didapat dari data penelitian sebelumnya.
- f. Pemodelan menggunakan *software* Matlab 7.8.0 (R2009a) dengan metode ANFIS.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Radiasi Matahari**

Radiasi adalah suatu bentuk energi yang dipancarkan oleh setiap benda yang mempunyai suhu di atas nol mutlak dan merupakan satu-satunya bentuk energi yang dapat menjalar di dalam vakum angkasa luar. Radiasi matahari merupakan gelombang elektromagnetik yang terdiri atas medan listrik dan medan magnet. Matahari setiap menit memancarkan energi sebesar  $56 \times 10^{26}$  kalori. Dari energi ini bumi menerima  $2,55 \times 10^{18}$  kalori atau hanya  $\frac{1}{2} \times 10^9$  nya (Prawirowardoyo, 1996).

Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Tiap tahun, jarak ini bervariasi antara  $1,47 \times 10^8$  km dan  $1,52 \times 10^8$  km dan hasilnya besar pancaran  $E_0$  naik turun antara  $1325 \text{ W/m}^2$  sampai  $1412 \text{ W/m}^2$ . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai  $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$  (Anonim, 2017).

Pancaran ini tidak dapat mencapai ke permukaan bumi. Atmosfer bumi mengurangi *insolation* yang melewati pemantulan, penyerapan (oleh ozon, uap air, oksigen, dan karbon dioksida), serta penyebaran (disebabkan oleh molekul udara, partikel debu atau polusi). Di cuaca yang bagus pada siang hari, pancaran bisa mencapai  $1000 \text{ W/m}^2$  di permukaan bumi. *Insolation* terbesar terjadi pada sebagian hari-hari yang berawan dan cerah. Sebagai hasil dari pancaran matahari yang memantul melewati awan, maka *insolation* dapat mencapai hingga  $1400 \text{ W/m}^2$  untuk jangka pendek (Anonim, 2017).

##### **2.1.1 Radiasi Matahari pada Permukaan Bumi**

Ada tiga macam cara radiasi matahari sampai ke permukaan bumi, yaitu :

###### **a. Radiasi langsung (*Beam/Direct Radiation*)**

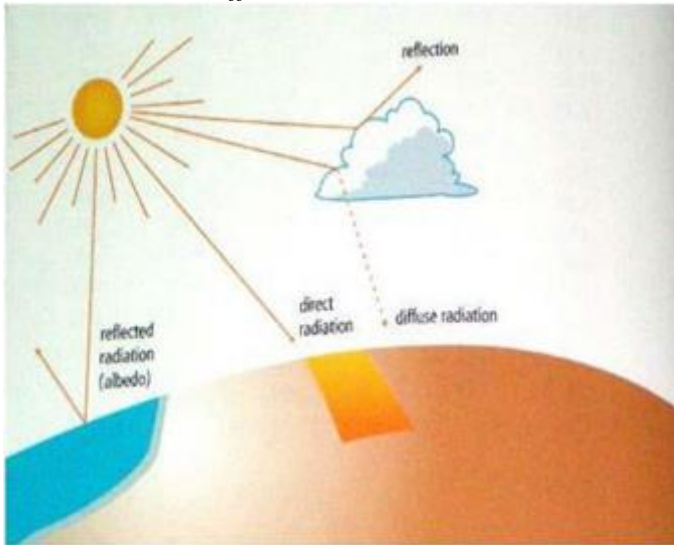
Adalah radiasi yang mencapai bumi tanpa perubahan arah atau radiasi yang diterima oleh bumi dalam arah sejajar sinar datang.

b. Radiasi hambur (*Diffuse Radiation*)

Adalah radiasi yang mengalami perubahan akibat pemantulan dan penghamburan.

c. Radiasi total (*Global Radiation*)

Adalah penjumlahan radiasi langsung (*direct radiation*) dan radiasi hambur (*diffuse radiation*).



**Gambar 2.1** Distribusi radiasi matahari sampai ke permukaan bumi (Anonim, 2017)

Cahaya matahari pada permukaan bumi terdiri dari bagian yang langsung dan bagian yang baur. Radiasi langsung datang dari arah matahari dan memberikan bayangan yang kuat pada benda. Sebaliknya radiasi baur yang tersebar dari atas awan tidak memiliki arah yang jelas tergantung pada keadan awan dan hari tersebut (ketinggian matahari), baik daya pancar maupun perbandingan antara radiasi langsung dan baur (Anonim, 2017).

Radiasi yang dipancarkan oleh matahari ke setiap sudut di angkasa berbentuk gelombang elektromagnetik yang membawa energi dengan kecepatan cahaya. Radiasi matahari ini mengalami penyerapan, pemantulan, dan hamburan di semua lokasi

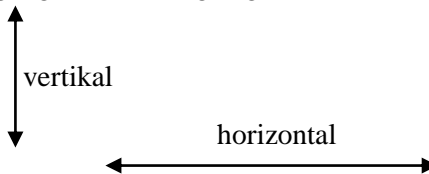
penjalarannya yang memasuki atmosfer bumi. Hal tersebut ditimbulkan oleh adanya banyak aktifitas seperti cuaca dan iklim. Selain radiasi matahari yang sampai ke permukaan berbeda di setiap tempat disebabkan oleh geometri bumi, jaraknya terhadap matahari, keadaan geografis, perbedaan lintang, dan bujur, dan komposisi atmosfer (Sabrian, 2013).

Pengaruh adanya atmosfer dan unsur-unsur cuaca membuat pengurangan energi. Kombinasi proses refleksi, absorpsi (*filtering*), refraksi, menyebabkan perubahan radiasi yang sampai di permukaan bumi. Efek rotasi bumi pada porosnya juga mengakibatkan perbedaan intensitas radiasi matahari selalu berubah setiap waktunya dalam satu hari.

Radiasi global adalah jumlah radiasi langsung dan radiasi sebaran. Umumnya pengukuran radiasi global adalah jumlah radiasi di permukaan horizontal. Radiasi global mencakup keseluruhan baik gelombang panjang maupun gelombang pendek. Radiasi langsung merupakan komponen penting dari radiasi matahari global karena memberikan kontribusi yang paling banyak dalam keseimbangan energi dan jenis radiasi lain bergantung secara langsung atau tidak langsung terhadapnya (Anonim, 2017).

## 2.2 Permukaan Horizontal

Permukaan adalah suatu bidang rata di atas suatu benda (air, laut, bumi, dan sebagainya). Sedangkan horizontal menurut KBBI merupakan suatu posisi yang terletak pada garis atau bidang yang sejajar dengan horizon atau garis datar (mendatar). Oleh karena itu permukaan horizontal dapat diartikan sebagai suatu bidang yang berada pada posisi sejajar dengan horizon atau garis datar. Garis Horizontal saling tegak lurus dengan garis vertikal.



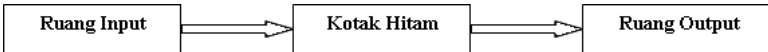
**Gambar 2.2** Posisi horizontal dan vertikal (Wikipedia, 2017)



## 2.3 Metode Estimasi

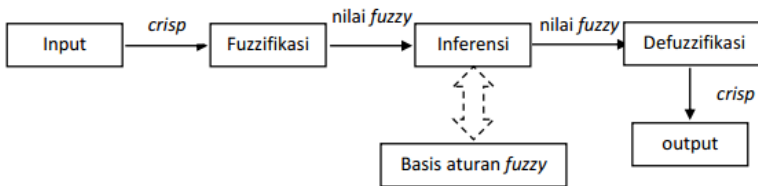
### 2.3.1 Metode Logika Fuzzy

Metode *Fuzzy* disebut juga dengan metode *black box* atau kotak hitam. Logika *Fuzzy* adalah suatu cara untuk memetakan suatu *input* ke dalam *output*. Gambar dibawah ini menggambarkan proses dari logika *Fuzzy* :



**Gambar 2.3** Pemetaan *input-output* (Muna, 2015)

Pada tahun 1965, Zadeh memodifikasi teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan kontinu antara 0-1, himpunan ini disebut himpunan samar (*Fuzzy set*). Sebagai contoh : himpunan temperatur yang akan mempengaruhi kondisi panas tidak bersifat diskrit dan dibatasi kondisi hangat. Skema dasar dari *fuzzy logic* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Skema dasar *Fuzzy Logic* (Muna, 2015)

Berikut adalah beberapa pengertian dari Gambar 2.4 :

- *Input fuzzy* berupa bilangan crisp (tegas) yang dinyatakan dalam himpunan input.
- *Fuzzification* merupakan proses untuk mengubah bilangan crisp menjadi nilai keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*.
- *Fuzzy inference system* merupakan bagian pengambilan kesimpulan (*reasoning*) dan keputusan.

- *Knowledge base* berisi aturan-aturan yang biasanya dinyatakan dengan perintah *IF.... THEN....*
- *Defuzzification* merupakan proses untuk merubah nilai *output fuzzy* menjadi nilai *crisp*.

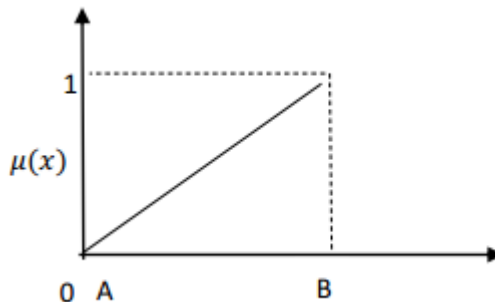
Dan dalam logika *fuzzy* dikenal juga fungsi keanggotaan (*membership function*), yaitu suatu kurva yang menunjukkan pemetaan antara titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan).

Dalam mendapatkan nilai keanggotaan salah satu caranya bisa menggunakan pendekatan fungsi (Muna, 2015). Adapun jenis representasi logika *fuzzy* adalah sebagai berikut :

#### A. Representasi Linier

Pemetaan representasi berbentuk garis lurus dan ini termasuk bentuk paling sederhana. Representasi linier terbagi menjadi dua, yakni representasi linear naik dan representasi linier turun (Muna, 2015).

Representasi linier naik memiliki titik yang dimulai dari  $[0,0]$  yang kemudian naik ke arah kanan ke nilai keanggotaan yang tertinggi.

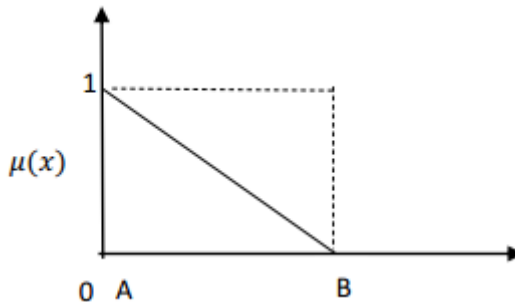


**Gambar 2.5** Representasi linier naik (Muna, 2015)

Fungsi keanggotaan representasi linier naik (Muna, 2015):

$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{(x - A)}{(B - A)}, & A \leq x \leq B \\ 0, & x \geq B \end{cases} \quad (2.1)$$

Sedangkan representasi linier turun, memiliki titik yang dimulai dari derajat keanggotaan tertinggi kemudian bergerak ke titik derajat keanggotaan terendah. Berikut grafik representasi linier turun :



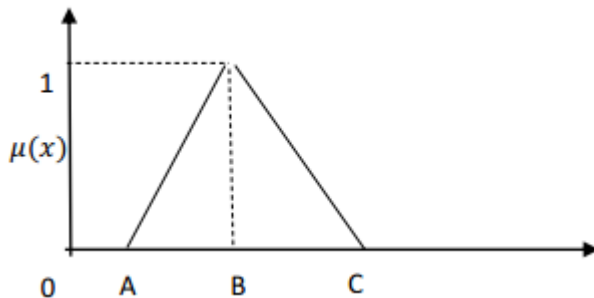
**Gambar 2.6** Representasi linier turun (Muna, 2015)

Fungsi keanggotaan representasi linier turun (Muna, 2015):

$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{(B-x)}{(B-A)}, & A \leq x \leq B \\ 0, & x \geq B \end{cases} \quad (2.2)$$

## B. Representasi Kurva Segitiga

Representasi kurva segitiga pada dasarnya terdiri atas representasi linier naik dan representasi linier turun. Representasi ini baik digunakan untuk suatu data yang pasti (Muna, 2015). Gambar dari representasi kurva segitiga ditampilkan dalam Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Representasi kurva segitiga (Muna, 2015).

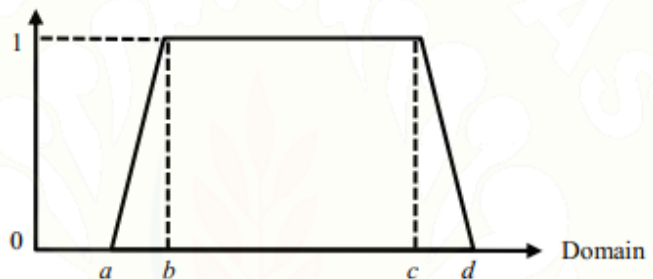
Fungsi keanggotaan dari kurva segitiga (Muna, 2015) :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq A \text{ atau } x \geq C \\ \frac{(x-A)}{(B-A)}, & A \leq x \leq B \\ \frac{(C-x)}{(C-B)}, & B \leq x \leq C \end{cases} \quad (2.3)$$

### C. Representasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium adalah representasi kurva yang berbentuk trapesium. Kurva trapesium memiliki beberapa titik yang memiliki derajat keanggotaan bernilai 1. Representasi kurva trapesium ditunjukkan pada Gambar 2.8.

Derajat Keanggotaan  $\mu(x)$



**Gambar 2.8** Representasi kurva trapesium (Prakoso, 2015)

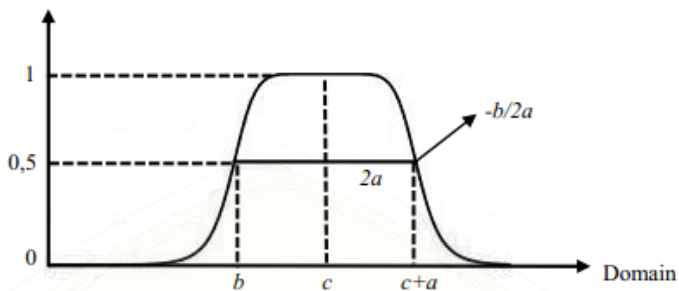
Fungsi keanggotaan trapesium dinyatakan dengan persamaan berikut (Prakoso, 2015):

$$T(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0; & x < a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b < x \leq c \\ (d-x)/(d-c); & c < x \leq d \\ 0; & x > d \end{cases} \quad (2.4)$$

#### D. Representasi Kurva *Generalized Bell*

Kurva *generalized bell* adalah representasi kurva dengan bentuk menyerupai lonceng. Kurva *generalized bell* menggunakan  $c$  untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva dan  $a$  untuk menunjukkan setengah lebar kurva. Representasi kurva *generalized bell* ditunjukkan pada Gambar 2.9.

Derajat Keanggotaan  $\mu(x)$



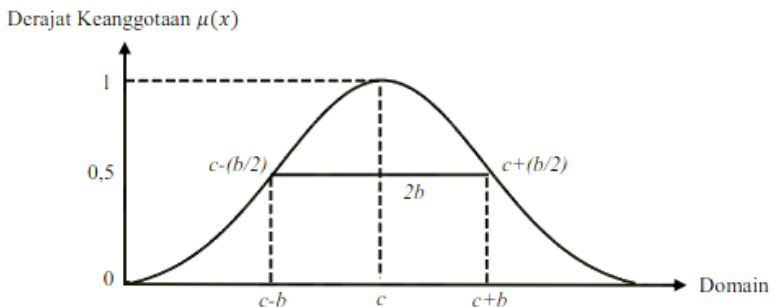
**Gambar 2.9** Representasi kurva *Generalized Bell* (Prakoso, 2015)

Fungsi keanggotaan *generalized bell* dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$bell(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.5)$$

### E. Representasi Kurva *Gaussian*

Pada kurva gaussian,  $c$  digunakan untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva (titik pusat domain) dan  $b$  menunjukkan setengah lebar kurva (standar deviasi pada himpunan fuzzy). Representasi kurva gaussian dapat dilihat pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Representasi kurva *Gaussian* (Prakoso, 2015)

Fungsi keanggotaan gaussian dinyatakan dengan persamaan berikut (Prakoso, 2015):

$$G(x; b, c) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2b^2}} \quad (2.6)$$

### 2.3.2 Metode Jaringan Syaraf Tiruan

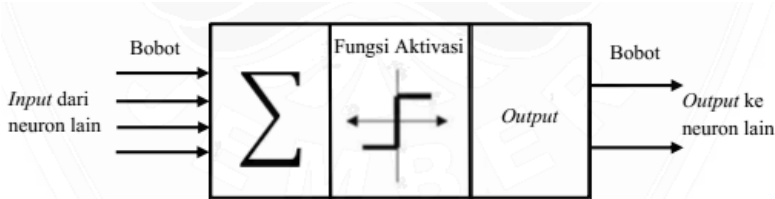
Pertama kali Jaringan Saraf Tiruan (JST) diperkenalkan oleh Warren McCulloch dan Walter Pits (1943). Jaringan Syaraf Tiruan adalah implementasi dari teknologi kecerdasan buatan (artificial intelligence). Jaringan syaraf tiruan merupakan bentuk tiruan dari jaringan syaraf biologis, karena meniru cara kerja dari jaringan syaraf biologis. Suatu jaringan syaraf tiruan memproses informasi dalam jumlah besar secara paralel dan terdistribusi, hal tersebut terinspirasi dari cara kerja jaringan syaraf biologis (Prakoso, 2015).

Jaringan syaraf terdiri dari kumpulan sel-sel syaraf. Sel-sel syaraf (neuron) berfungsi untuk memberikan suatu sinyal/tanggapan atas sebuah rangsangan yang diterimanya. Komponen utama dari neuron antara lain:

- Dendrit, berfungsi sebagai penerima rangsangan;
- Badan sel (soma), berfungsi sebagai tempat untuk mengolah sinyal rangsangan;
- Akson (neurit), berfungsi pengirim impuls-impuls ke sel syaraf lainnya.

Cara kerja JST sepeertihalnya cara kerja manusia, yaitu mempelajari melalui contoh. JST dibagi menjadi 3 lapisan, yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan keluaran (*ouput layer*) (Andrian, 2014).

Jaringan syaraf terdiri dari beberapa neuron dan terdapat hubungan antara neuron-neuron tersebut. Neuron akan mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan outputnya menuju ke neuron lain. Pada jaringan syaraf tiruan, hubungan ini dikenal dengan istilah bobot (*weight*). Informasi tersebut disimpan pada nilai tertentu pada bobot tersebut (Prakoso, 2015). Gambar 2.11 menunjukkan struktur neuron jaringan syaraf tiruan.



**Gambar 2.11** Struktur neuron Jaringan Syaraf Tiruan (Prakoso, 2015)

Menurut Kusumadewi (2004) menjelaskan secara rinci mengenai prosedur kerja jaringan syaraf tiruan sebagai berikut:

- input berupa informasi dikirim ke neuron dengan bobot awal tertentu;
- input diproses dengan suatu fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot;
- hasil penjumlahan dibandingkan dengan nilai ambang (*threshold*) tertentu;

- d. jika input lebih besar dari nilai ambang, maka neuron akan diaktifkan. Jika input tidak lebih besar dari nilai ambang, maka neuron akan dinonaktifkan;
- e. apabila neuron diaktifkan, maka neuron akan mengirimkan output ke semua neuron yang berhubungan dengannya melalui bobot-bobot *outputnya*.

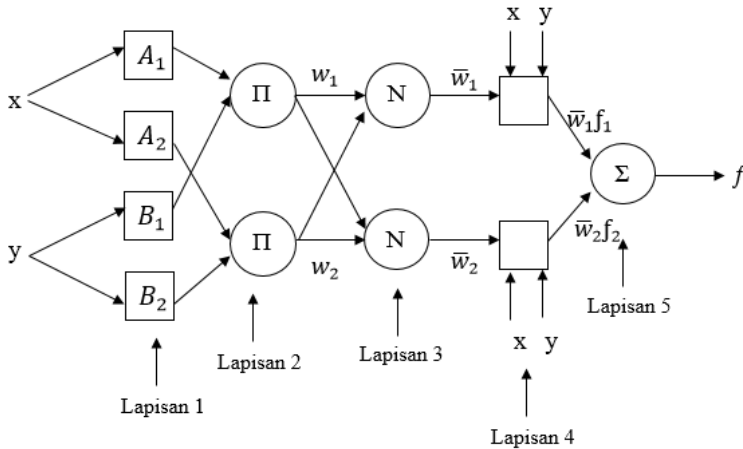
Secara sederhana JST adalah sistem yang menerima input, data proses, dan kemudian memberikan hasil output dari input yang diterima. JST memiliki keuntungan yaitu dapat digunakan untuk mengambil data, mendeteksi tren, dan juga dapat memprediksi pola yang tidak diberikan selama pelatihan yang disebut dengan generalisasi (Andrian, 2014).

### **2.3.3 Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System**

ANFIS merupakan singkatan dari *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* atau dapat diartikan sebagai sistem inferensi fuzzy berbasis jaringan saraf adaptif. Dalam pembelajaran ANFIS dapat menggunakan algoritma perambatan balik atau algoritma *hybrid*. Algoritma *hybrid* merupakan gabungan antara algoritma perambatan balik dengan metode kuadrat terkecil (*Least Squares Estimate*). Digunakannya metode kuadrat terkecil yaitu untuk menentukan parameter konsekuensi, sedangkan perambatan balik digunakan untuk memperbaharui bobot premis (Santoso, 2016).

Adapun gambar struktur ANFIS yang menggambarkan sistem fuzzy Takagi Sugeno Kang ditampilkan dalam gambar 2.12.





**Gambar 2.12** Struktur ANFIS (Santoso, 2016)

Gambar 2.12 memperlihatkan bahwa sistem *neuro-fuzzy* terdiri dari lima lapisan. Setiap lapisan terdiri dari beberapa simpul yang dilambangkan dengan kotak dan lingkaran. Lambang kotak menyatakan simpul adaptif yang nilai parameternya bisa berubah berdasarkan pembelajaran dan lingkaran menyatakan simpul nonadaptif dimana nilainya tidak berubah. Berikut fungsi-fungsi dari setiap lapisan (Santoso, 2016):

- **Lapisan 1**

Pada lapisan pertama yaitu terdapat simpul adaptif dengan nilai parameter yang dapat berubah melalui pembelajaran. Fungsi simpulnya adalah sebagai berikut (Santoso, 2016) :

$$O1,i = \mu_{A_i}(x), \text{ untuk } i = 1, 2, \text{ atau} \quad (2.7)$$

$$O1,i = \mu_{B_{i-2}}(y), \text{ untuk } i = 3, 4 \quad (2.8)$$

Variabel  $x$  dan  $y$  adalah masukan simpul  $i$ ,  $A_i$  atau  $B_{i-2}$  adalah fungsi dari keanggotaan dari masing-masing simpul. Simpul  $O1,i$  menyatakan derajat keanggotaan setiap masukan terhadap himpunan *fuzzy*  $A$  dan *fuzzy*  $B$ . Fungsi keanggotaan yang umumnya digunakan adalah jenis *generalized bell* (gbell). Parameter  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,

pada fungsi keanggotaan gbell disebut juga sebagai parameter premis yang adaptif atau dapat berubah.

- **Lapisan 2**

Lapisan ini terdapat simpul nonadaptif yang memiliki nilai parameter tetap. Simpul ini berfungsi sebagai perkalian setiap sinyal input. Fungsi simpulnya adalah sebagai berikut (Santoso, 2016):

$$O2,i = w_i = \mu_{Ai}(x) \cdot \mu_{Bi-2}(y), \text{ untuk } i = 1, 2 \quad (2.9)$$

Output simpul ini menyatakan derajat pengaktifan untuk setiap *rule* (aturan) *fuzzy*. Semakin banyak fungsi atau simpul, maka semakin banyak pula *rule* (aturan) *fuzzy* yang akan dibentuk.

- **Lapisan 3.**

Pada lapisan ini terdapat simpul nonadaptif yang dapat menampilkan fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi (*normalized firing strength*) yaitu berupa rasio keluaran simpul ke-i pada lapisan sebelumnya terhadap seluruh keluaran lapisan sebelumnya, Fungsi simpulnya adalah sebagai berikut (Santoso, 2016):

$$O3,i = \frac{w_i}{\sum w_i}, \text{ untuk } i = 1, 2 \quad (2.10)$$

Jika dibentuk lebih dari dua aturan, maka fungsi dapat diperluas dengan cara membagi  $w_i$  dengan total  $w$  untuk semua aturan.

- **Lapisan 4.**

Semua simpul pada lapisan ini adalah adaptif dengan derajat pengaktifan ternormalisasi dari lapisan 3. Fungsi simpulnya adalah sebagai berikut (Santoso, 2016):

$$O4,i = f_i = (p \cdot x + q \cdot y + r) \quad (2.11)$$

Nilai parameter  $p$ ,  $q$ ,  $r$  menyatakan parameter konsekuensi yang adaptif berdasarkan keluaran dari lapisan 3.

- **Lapisan 5.**

Lapisan kelima ini hanya terdapat satu simpul nonadaptif dengan fungsi untuk menjumlahkan semua input. Fungsi simpulnya adalah sebagai berikut (Santoso, 2016):

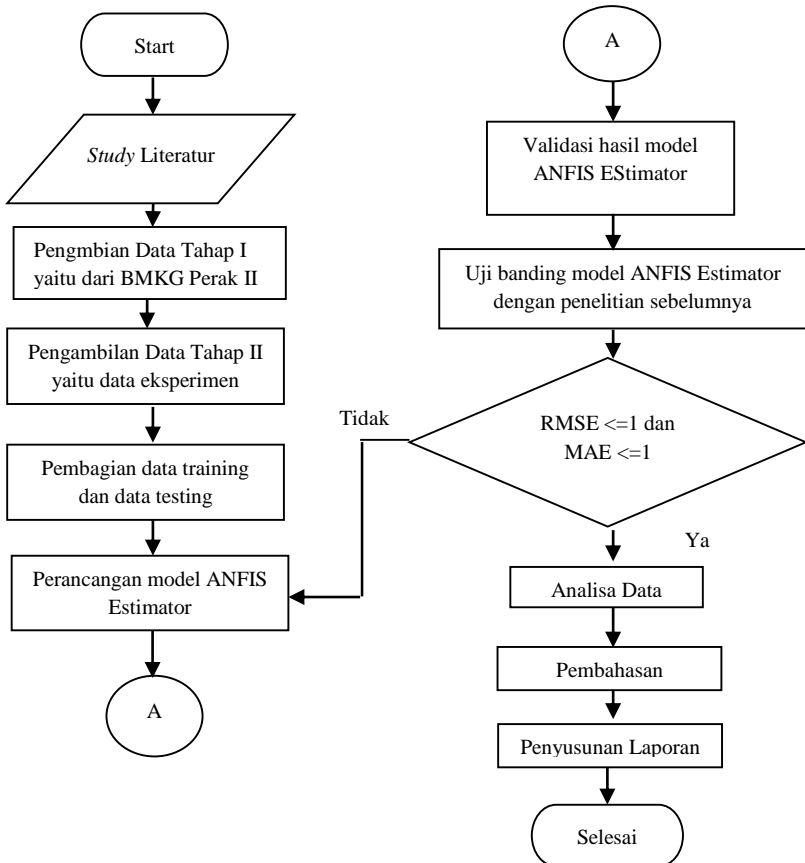
$$O_{5,i} = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2.12)$$

Dari lima lapisan diatas ekivalen dengan sistem inferensi *fuzzy* Takagi-Sugeno Kang (Santoso, 2016).

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun Digram Alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian.

Pada diagram alir penelitian tugas akhir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 langkah pertama yaitu melakukan studi literatur. Studi literatur mencakup materi atau teori penunjang yang mendukung pelaksanaan tugas akhir. Diantaranya mempelajari tentang pemodelan radiasi matahari dengan logika *fuzzy* dengan algoritma *Hybrid*, pemodelan dengan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS), dan *software* Matlab yang digunakan sebagai alat pembelajaran untuk mendapatkan model estimasi dari radiasi matahari. Dilanjutkan dengan pengambilan data sekunder dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Perak II berupa radiasi matahari perjam, temperatur udara, kelembapan relatif, arah angin, dan kecepatan angin. Data yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan pengolahan data dan normalisasi data sebelum dilakukan proses *training*. Pada proses *training* ini apabila telah mencapai target yang diinginkan yaitu dalam kriteria nilai RMSE (*Root Mean Square Error*). Selanjutnya dilakukan proses *testing* sebagai validasi data. kemudian melakukan analisa data dari hasil estimasi yang didapatkan dengan membandingkan nilai RMSE dan MAE yang didapat dengan menggunakan metode ANFIS dan ELM.

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur yang digunakan untuk mendukung tugas akhir ini adalah radiasi matahari, jaringan syaraf tiruan yang diintegrasikan dengan logika *fuzzy* atau *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* dan Matlab *toolbox*. Radiasi matahari dipelajari untuk mengetahui bagaimana proses terjadinya radiasi matahari hingga sampai ke permukaan bumi. Pemahaman tentang jaringan syaraf tiruan diperlukan untuk melakukan penyusunan algoritma dan proses pembelajaran. Pemahaman tentang logika *fuzzy* sebagai metode pencarian nilai crips (tegas) dari peraturan dasar (*rule based*) dan fungsi keanggotaan yang telah dibuat. ANFIS pembelajaran baru dari jaringan syaraf tiruan yang hanya menggunakan satu *hidden layer*. Sedangkan *software* Matlab digunakan untuk melakukan pengujian data yang diperoleh dari

data sekunder dengan menentukan proses *training*, *checking*, dan *testing* untuk mendapatkan estimasi.

Literatur yang digunakan untuk mengumpulkan informasi yang terkait dengan tugas akhir ini didapatkan dari beberapa jurnal, artikel, buku, data sekunder dari BMKG Perak II, laporan tugas akhir dari penelitian yang pernah dilakukan, dan data eksperimen. Referensi yang ada dapat bersifat sebagai sumber utama untuk penunjang penelitian tugas akhir ini.

### 3.3 Pengambilan Data Tahap I

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diambil dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Perak II Surabaya. Data yang digunakan berupa data radiasi matahari perjam ( $\text{W/m}^2$ ), temperatur udara ( $^{\circ}\text{C}$ ), kelembapan relatif (%), arah angin ( $^{\circ}$ ), dan kecepatan angin ( $\text{m/s}$ ) yang diambil selama bulan Januari 2015 sampai dengan Desember 2016. Berikut ini akan ditampilkan contoh data pada excel yang akan diolah pada penelitian tugas akhir ini.

**Tabel 3.1** Contoh Rekap Data BMKG dalam Excel

Angin		Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kelembaban (%)	Intensitas Radiasi Matahari ( $\text{W/m}^2$ )
Arah ( $^{\circ}$ )	Kecepatan ( $\text{m/s}$ )			
200	0,51	33,3	58	0
291	0	34,0	54	276
353	0	33,8	54	113
332	1	33,6	55	271
299	1,54	32,9	61	530
322	1,54	28,3	82	619
319	1,54	26,5	87	839
279	1,54	26,1	84	331
301	1	25,9	92	398

### 3.4 Pengambilan Data Tahap II (Data *Real*)

Selain data BMKG, dilakukan juga pengambilan data secara eksperimen yaitu dengan mengukur langsung dengan alat ukur. Adapun informasi posisi pengambilan data adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Informasi Titik Pengambilan Data Eksperimen

Nama Tempat	“Venus” atau Lt.3 Laboratorium Fisika Rekayasa-Teknik Fisika ITS
Posisi Lintang	7,3°LS
Posisi Bujur	112,8°BT
Ketinggian dari permukaan laut	7 meter atau 23 ft
Kondisi	Terbuka dan tidak terhalang dinding


Tempat tersebut dipilih karena memiliki permukaan yang bidang dan tidak banyak benda tinggi yang menghalangi, seperti pepohonan dan bangunan bertingkat sehingga tidak menghalangi Pyranometer dalam mengukur radiasi matahari. Selain itu, diperlukan ketinggian yang dirasa cukup agar angin tidak terhalang oleh bangunan lain. Untuk data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.

Dalam pengambilan data eksperimen diperlukan alat ukur antara lain yaitu : pyranometer, thermometer, anemometer, RH meter dan *wind sock*. Berikut spesifikasi dari masing-masing alat ukur :

#### a. Pyranometer

Pyranometer adalah alat untuk mengukur intensitas radiasi matahari dengan satuan daya persatuan luas ( $\text{W/m}^2$ ). Adapun jenis yang dipakai yaitu CMP 3. Spesifikasi dari Pyranometer CMP 3 disebutkan dalam tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Spesifikasi Pyranometer CMP 3 (Campbellsci, 2006)

NO	Keterangan	Spesifikasi	Gambar
1	Measuring range	0 - 2000 W/m <sup>2</sup>	
2	Sensitivity	5 - 20 $\mu$ V/W/m <sup>2</sup>	
3	Spectral range	0,31 - 2,8 $\mu$ m	
4	Non-linearity	2,5 % (0 - 1000 W/m <sup>2</sup> )	
5	Internal resistance	20 - 200 Ohm	
6	Time constant	18s	
7	Sensor type	64 Thermocouples	
8	Ambient temp	- 40 - + 80°C	
9	Dimensions	Ø 110 x 68 mm	
10	Weight	0,35 kg	

### b. Thermometer


Thermometer yaitu alat untuk mengukur temperatur. Adapun temperatur yang diukur dalam penelitian ini yaitu temperatur udara dengan satuan derajat celcius (°C). Dikarenakan pada RH meter jenis HT-3015 sudah terdapat thermometer udara sehingga dalam eksperimen ini, alat tersebut juga digunakan untuk mengambil data temperatur udara.



**c. RH Meter (*Relative Humidity meter*)**

RH meter yaitu alat yang digunakan untuk mengukur kelembapan dengan satuan persentase (%). Jenis alat yang digunakan yaitu RH meter HT-3015. Adapun spesifikasi alat RH meter tipe HT-3015 adalah sebagai berikut :


**Tabel 3.4** Spesifikasi RH Meter HT-3015 (Lutron, 2017)

NO	Keterangan	Spesifikasi	Gambar
1	<b>Display</b>	LCD size : 61 mm x 35 mm dual function LCD display.	
2	<b>Waktu Respon</b>	5 – 30s	
3	<b>Waktu Sampling</b>	Approx. 0.8 second	
4	<b>Power Supply</b>	006P DC 9V battery	
5	<b>Power Current</b>	Approx. DC 4.6 mA.	
6	<b>Dimensi</b>	180 x 72 x 32 mm	
7	Akurasi	$\geq 70\% \text{ RH} : \pm (3\% \text{ reading} + 1\% \text{ RH}).$ $< 70\% \text{ RH} : \pm 3\% \text{ RH}.$	
8	Resolusi	0.01 % R.H.	
9	range	10 % to 95 % R.H.	
10	Weight	306 g/0.67 LB.	

#### d. Anemometer

Anemometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Dalam eksperimen ini, alat yang digunakan bertipe anemometer AM-4206 dan satuan kecepatan angin yang digunakan yaitu m/s. Berikut spesifikasi dari anemometer AM-4206 :

**Tabel 3.5** Spesifikasi Anemometer AM-4206 (Lutron, 2017)

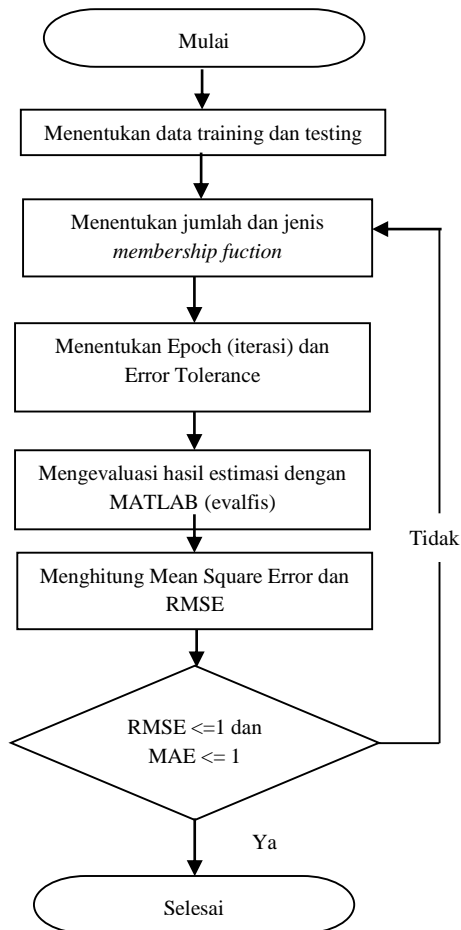
NO	Keterangan	Spesifikasi	Gambar
1	Air flow	CMM (m <sup>3</sup> /min.) and CFM (ft <sup>3</sup> /min.)	
2	Air velocity	0.4 to 25.0 m/s	
3	Size	180 x 72 x 32 mm	

#### e. Windsock

*Windsock* adalah alat untuk mengetahui datangnya arah angin dengan cara melihat arah tiupan angin pada kain/polymer yang membentuk kerucut dengan kedua ujung yang terbuka. Dalam eksperimen ini, *wind sock* ditempatkan pada posisi yang tinggi agar angin tidak terhalang oleh bangunan sekitar.

### 3.5 Pelatihan/*Training* ANFIS

Dalam melakukan estimasi menggunakan ANFIS maka diperlukan proses pelatihan untuk menghasilkan *membership function* yang tepat dalam nantinya melakukan estimasi. Berikut adalah tahapan proses pelatihan pada ANFIS.



**Gambar 3.2.** Diagram alur pelatihan (*training*) ANFIS.

Dalam proses pelatihan menggunakan metode ANFIS, diperlukan jenis *membership function* yang tepat untuk menghasilkan output yang baik. Untuk jenis bentuk *membership fuction* yang digunakan yaitu *gauss*. Selain itu, akan diuji juga dengan menggunakan jenis lainnya sebagai pembanding dalam mencari *error* tekecil.

Epoch dikenal juga sebagai iterasi, idealnya semakin besar jumlah Epoch maka semakin kecil error yang dihasilkan. Maka dari itu, dilakukan beberapa percobaan agar mendapatkan jumlah epoch yang tepat agar waktu yang dibutuhkan ketika melakukan proses *training* dapat efektif. Dari data yang telah melalui proses *training*, selanjutnya dilakukan pengujian (*testing*) dengan perbandingan jumlah antara data training dan data testing yaitu 80% dan 20%.

Setelah melakukan proses *training* dan *testing* sehingga mendapat error yang dicari, kemudian hasil dari ANFIS tersebut disimpan berupa sistem fuzzy dalam bentuk .fis yang selanjutnya dilakukan evaluasi sistem fuzzy dengan menggunakan toolbox MATLAB yang bernama “evalfis” untuk menghasilkan *output* dari estimasi.

Dari beberapa tahapan sebelumnya kemudian dilakukan analisa hasil estimasi menggunakan bantuan Microsoft Excel dalam mencari nilai kesalahan (*error*). Adapun jenis perhitungan error yang digunakan yaitu *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE). Apabila hasil belum memenuhi target yang diharapkan, maka akan dilakukan kembali proses penentuan jenis *membership function* dan jumlah epoch sehingga memenuhi target yang diharapkan. Adapun rumus dari RMSE dan MAE adalah sebagai berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - t_t)^2} \quad (3.1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |y_t - t_t| \quad (3.2)$$

dimana :

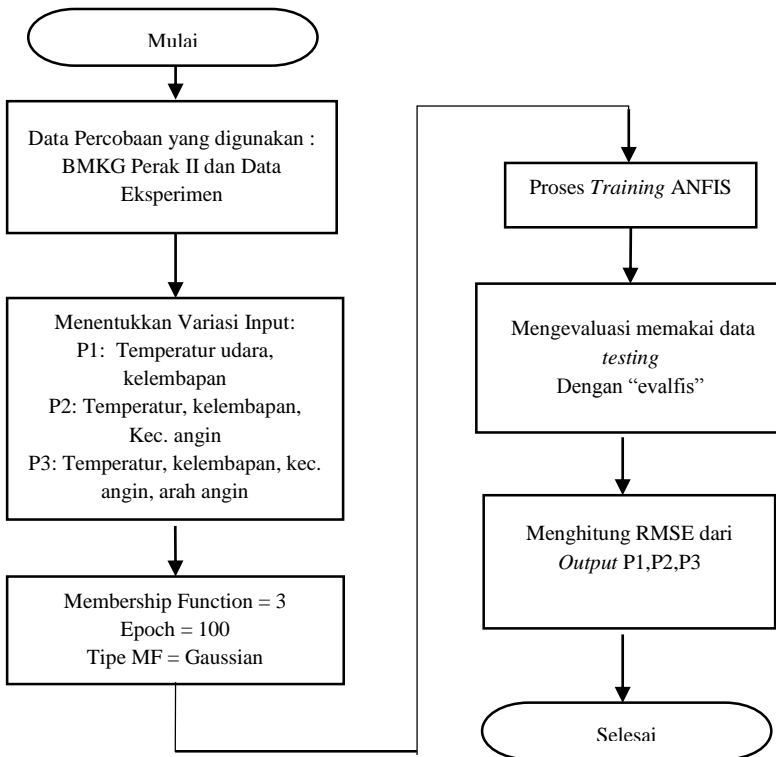
$N$  = Banyaknya data

$y_i$  = Data hasil estimasi

$t_i$  = Data aktual

### 3.6 Percobaan Mencari Struktur ANFIS *Multi Input Single Output (MISO)*.

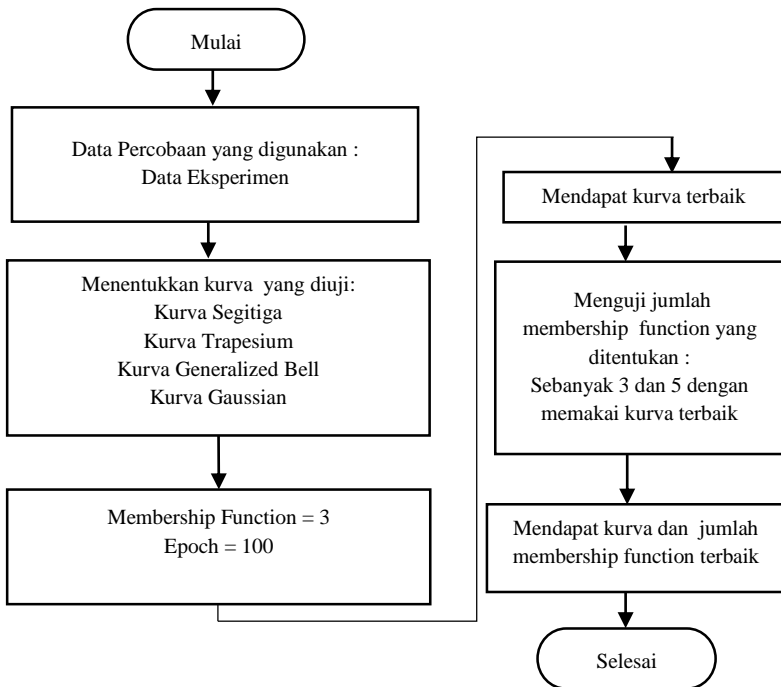
Percobaan ini dilakukan untuk mencari variasi *input* untuk menghasilkan estimasi output terbaik yang ditunjukkan dengan parameter tingkat kesalahan dalam besaran RMSE dan MAE. Adapun data yang digunakan ada 2, yaitu data yang berasal dari BMKG Perak II dan data eksperimen. Berikut algoritma percobaannya :



**Gambar 3.3** Diagram alur percobaan MISO.

### 3.7 Percobaan Mendapatkan Model ANFIS Estimasi Radiasi Matahari

Untuk mendapatkan model ANFIS Estimasi dalam kasus ini, diuji beberapa jenis fungsi kurva keanggotaan antara lain yaitu: segitiga, trapesium, *generalized bell*, dan *gaussian*. Dan mevariasikan jumlah fungsi keanggotaan (*membership function*). Adapun data yang digunakan yaitu menggunakan data eksperimen. Hasil estimasi model percobaan ini kemudian akan digunakan untuk percobaan membandingkan estimasi radiasi matahari menggunakan ANFIS dan ELM.

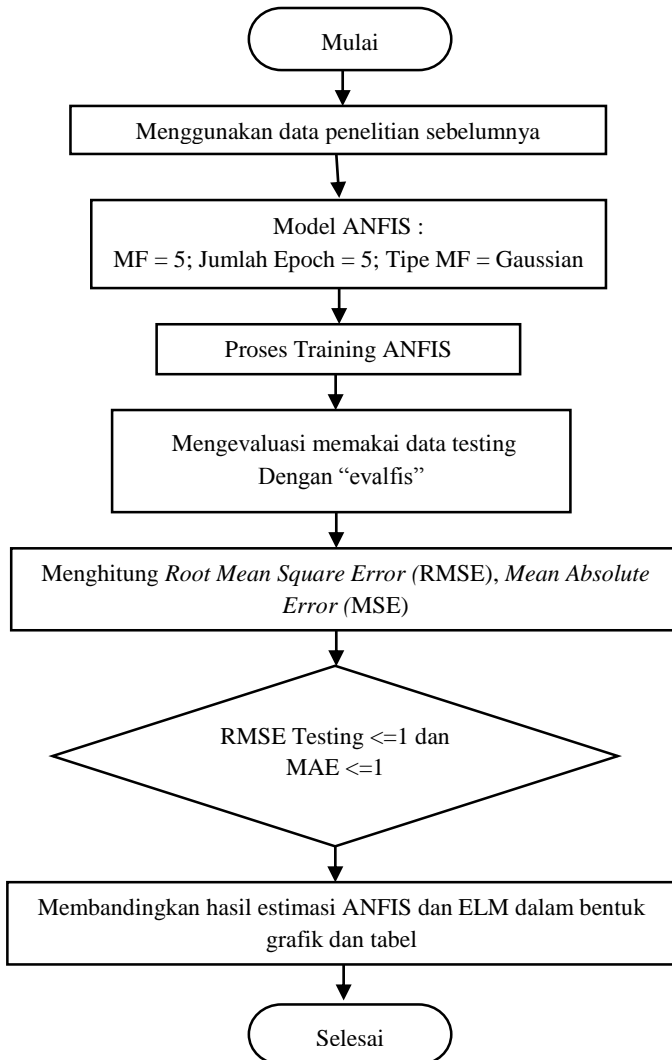


**Gambar 3.4** Diagram alur perancangan model ANFIS.

### **3.8 Percobaan Membandingkan Hasil Estimasi ANFIS dengan *Extreme Learning Machine* (ELM).**

Pada percobaan ini, data yang digunakan yaitu data Tugas Akhir milik Sdri. Nur Ulfa dengan judul “Estimasi Radiasi Matahari Perjam Pada Permukaan Horizontal Dengan Extreme Learning Machine (Studi Kasus Di Surabaya)” dengan data bersumber dari BMKG Perak II. Adapun model ANFIS yang digunakan yaitu berasal dari percobaan menentukan model ANFIS Estimator.

Selanjutnya, hasil estimasi keduanya dibandingkan nilai kesalahannya (RMSE dan MAE) antara metode ANFIS dengan metode ELM. Apabila hasil belum memenuhi target yang diharapkan, maka akan dilakukan kembali proses penentuan jenis *membership function* dan jumlah *epoch* sehingga memenuhi target yang diharapkan. Selain itu, akan ditampilkan juga hasil estimasi dari kedua metode dengan tabel. Untuk algoritma percobaan dalam membandingkan estimasi radiasi matahari dengan ANFIS dan ELM teradapat dalam Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Diagram alur percobaan membandingkan ANFIS dengan ELM.



“Halaman ini sengaja dikosongkan ”

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil simulasi untuk Estimasi Radiasi Matahari di Kota Surabaya menggunakan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dengan *Algorithma Hybrid*. Pengujian kali ini berupa hasil simulasi menggunakan software MATLAB dengan data yang berasal dari BMKG Maritim Perak II Surabaya dan data *real*/eksperimen dengan pengambilan menggunakan alat ukur.

#### 4.1 Analisa Data

##### 4.1.1 Data BMKG

Sebelum melakukan simulasi, terlebih dahulu dilakukan analisa data yang didapat dari BMKG Maritim Perak II Surabaya dengan periode Januari 2015 sampai dengan Desember 2016.

Data tersebut kemudian dibagi menjadi dua bagian, yakni data *training* dan data *checking*. Pembagian diantara keduanya berturut-turut yaitu 80:20 dengan data training berjumlah 5825 pasangan data dan data checking berjumlah 1456 pasangan data, sehingga total dari keseluruhan data yaitu 7281 pasangan data.

Adapun karakteristik data training dan data testing adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Karakteristik Data BMKG

	Temperatur (°C)	Kelembapan (%)	Kec. Angin (m/s)	Arah Angin (°)	Radiasi Matahari (W/m <sup>2</sup> )
Range	23,4-37,7	29,8-100	0- 12,33	0-359	0-1075,8
Span	14,3	70,2	12,33	359	1075,8
Mean	29,92	72,3	2,63	71,92	341,11
Std. Dev	2,65	12,67	1,74	101,1	304,94
Max	37,7	100	12,33	359	1075,8
Min	23,4	29,8	0	0	0

#### 4.1.2 Data *Real*/Eksperimen

Data real pengukuran didapatkan dari hasil mengukur dengan menggunakan alat ukur. Adapun jumlah data *real*/eksperimen yaitu berjumlah 251 pasangan data kemudian dibagi menjadi data training dan data testing dengan pembagian 80:20. Berikut karakteristik dari data *real*/eksperimen :

**Tabel 4.2** Karakteristik Data *Real*/Eksperimen

	Temperatur (°C)	Kelembapan (%)	Kec. Angin (m/s)	Arah Angin (°)	Radiasi Matahari (W/m <sup>2</sup> )
Range	31,2-38,2	42,8-64,8	0-5,1	10-340	6,96-898,33
Span	7	22	5,1	330	891,36
Mean	35,19	52,04	0,99	95,36	589,77
Std. Dev	1,40	5,78	0,82	55,16	294,92
Max	38,2	64,8	5,1	340	898,33
Min	31,2	42,8	0	10	6,96

## 4.2 Analisa Percobaan

### 4.2.1 Analisa *Multi Input Single Ouput* (menggunakan data BMKG)

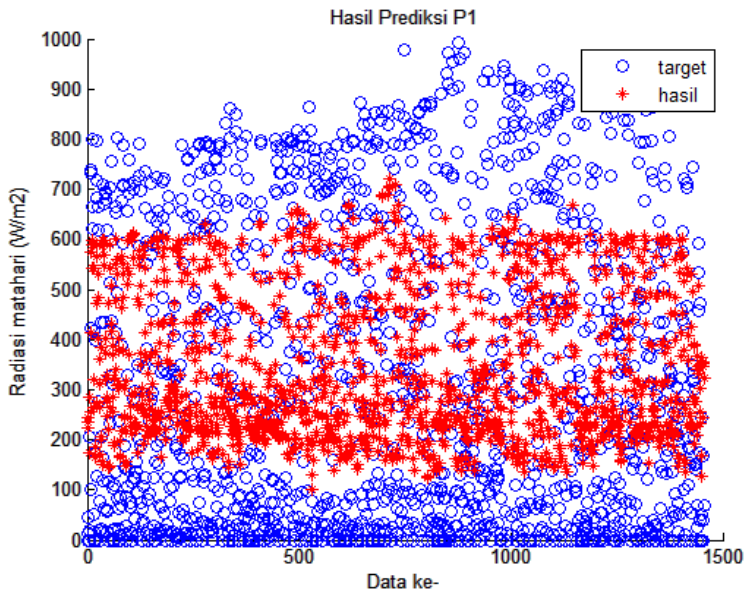
Pada penelitian ini dilakukan tiga percobaan dengan memvariasikan pasangan data *input* untuk kemudian dilakukan simulasi menggunakan ANFIS pada Matlab. Adapun data yang dipakai yaitu data BMKG.

Percobaan pertama (P1), pasangan data *input* yang digunakan yaitu temperatur udara dan kelembapan. Percobaan kedua (P2), pasangan data *input* yang digunakan yaitu temperatur udara, kelembapan, dan kecepatan angin. Pada percobaan ketiga (P3), pasangan data *input* yang digunakan yaitu temperatur udara, kelembapan, kecepatan angin, dan arah angin. Adapun *output* dari ketiga percobaan tersebut yaitu berupa radiasi matahari. Untuk skenario percobaan mengenai *Multi Input Single Output* disebutkan dalam Tabel 4.3.

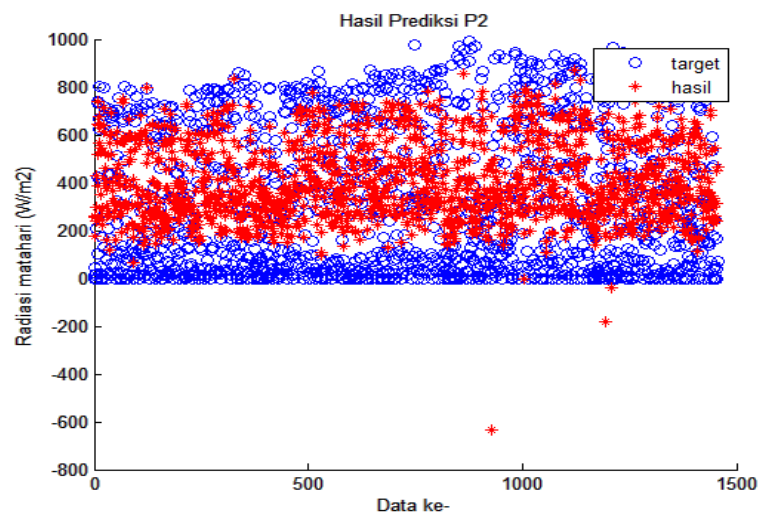
**Tabel 4.3** Skenario Percobaan *Multi Input Single Output* (BMKG)

Percobaan	Data input	output
P1	Temperatur udara dan kelembapan	Radiasi matahari
P2	Temperatur udara, kelembapan, dan kecepatan angin	Radiasi matahari
P3	Temperatur udara, kelembapan, kecepatan angin, dan arah angin	Radiasi matahari

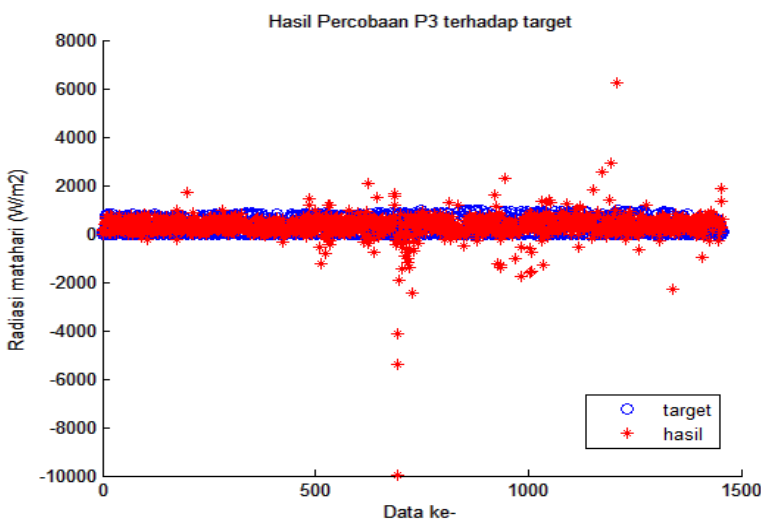
Setelah dilakukan komputasi menggunakan software MATLAB, berikut adalah hasil dari simulasi pada percobaan P1, P2, dan P3 :

**Gambar 4.1** Hasil percobaan P1 data BMKG

Pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa hasil model prediksi belum mampu mendekati target. Target disini yaitu data BMKG yang digunakan sebagai data validasi untuk menguji model yang telah dibuat.



**Gambar 4.2** Hasil percobaan P2 data BMKG



**Gambar 4.3** Hasil percobaan P3 data BMKG

Pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa hasil model prediksi belum mampu mencapai target yang ditentukan dan terjadi penyimpangan

(*error*) maksimum yaitu sebesar 701,6 W/m<sup>2</sup> seperti halnya pada Gambar 4.3 yang mana estimasi belum mampu mendekati target dan terjadi penyimpangan (*error*) maksimum yaitu sebesar 10.360,4 W/m<sup>2</sup>.

**Tabel 4.4** Perbandingan Hasil Estimasi P1,P2,dan P3 Data BMKG

Data Aktual Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Ouput</i> P1 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Output</i> P2 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Output</i> P3 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )
46	246	254	140
12	229	260	172
0	203	175	-23
0	287	295	169
18	177	238	194
206	177	430	417
422	249	519	582
101	245	385	521
738	430	647	469
733	585	740	713
801	602	637	689
665	585	677	710
622	543	566	532
417	543	546	381
50	543	530	546
16	356	350	131
0	299	259	44
0	167	222	12
173	174	244	773
399	170	292	481
127	272	418	422
684	476	713	686
718	572	640	701
796	553	615	628
665	526	525	365
618	492	461	497
276	427	389	352
78	393	377	397

**Tabel 4.4** Lanjutan

Data Aktual Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Ouput</i> P1 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Output</i> P2 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Output</i> P3 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )
19	350	301	368
0	299	259	39
0	176	162	64
21	212	273	218
206	204	284	450
433	390	513	505
119	569	568	474
708	571	597	670
15	152	118	45
165	160	403	546
434	540	603	638
62	595	695	751
672	534	520	525
695	418	402	408
692	401	367	340
680	359	322	323
dst	dst	dst	dst

Dari ketiga hasil percobaan ini, didapatkan perbandingan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebagai berikut :

**Tabel 4.5** Perbandingan Percobaan P1, P2, dan P3 Data BMKG

Percobaan	Jenis MF	Jumlah MF	Epoch	RMSE
P1	Gauss	3	100	257,06
P2	Gauss	3	100	267,84
P3	Gauss	3	100	561,54

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai rmse terkceil dimiliki oleh model simulasi pada Percobaan 1 (P1) dan sedangkan nilai RMSE terbesar dimiliki oleh Percobaan 3 (P3). Sehingga pada penelitian dengan menggunakan data BMKG model yang terbaik yaitu dengan menggunakan *input* berupa temperatur udara dan kelembapan dan *output* berupa radiasi matahari.

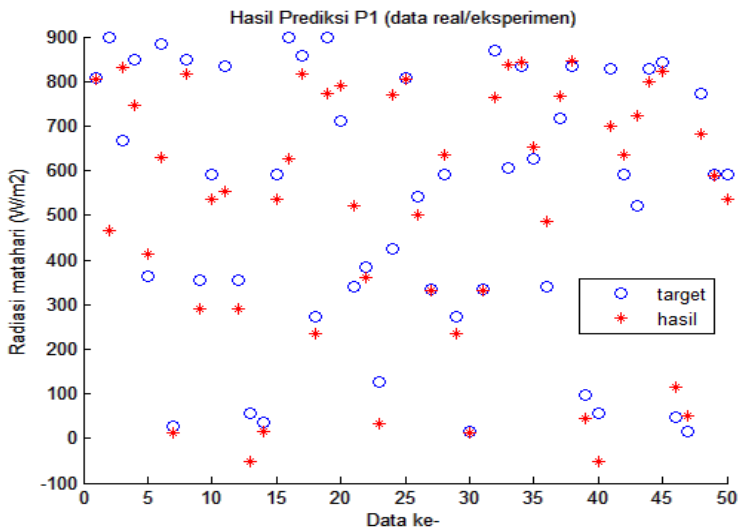
#### 4.2.2 Analisa *Multi Input Single Ouput* (menggunakan data *real/eksperimen*)

Pada penelitian kali ini, dilakukan simulasi dengan menggunakan data real hasil pengukuran dengan menggunakan alat ukur yang bertujuan mencari *Multi Input Single Ouput* menggunakan data real/eksperimen. Berikut skenario percobaan yang dilakukan :

**Tabel 4.6** Skenario Percobaan *Multi Input Single Ouput* Menggunakan Data *Real*

Percobaan	Data input ( <i>real</i> )	Output ( <i>real</i> )
P1	Temperatur udara dan kelembapan	Radiasi matahari
P2	Temperatur udara, kelembapan, dan kecepatan angin	Radiasi matahari
P3	Temperatur udara, kelembapan, kecepatan angin, dan arah angin	Radiasi matahari

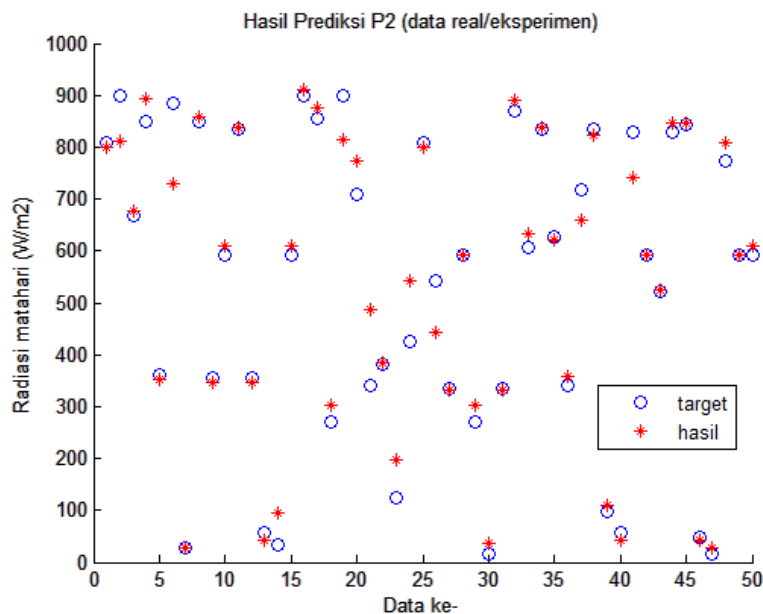
Setelah dilakukan komputasi dengan MATLAB, berikut hasil simulasi dari P1, P2, dan P3:



**Gambar 4.4** Hasil percobaan P1 data *real/eksperimen*

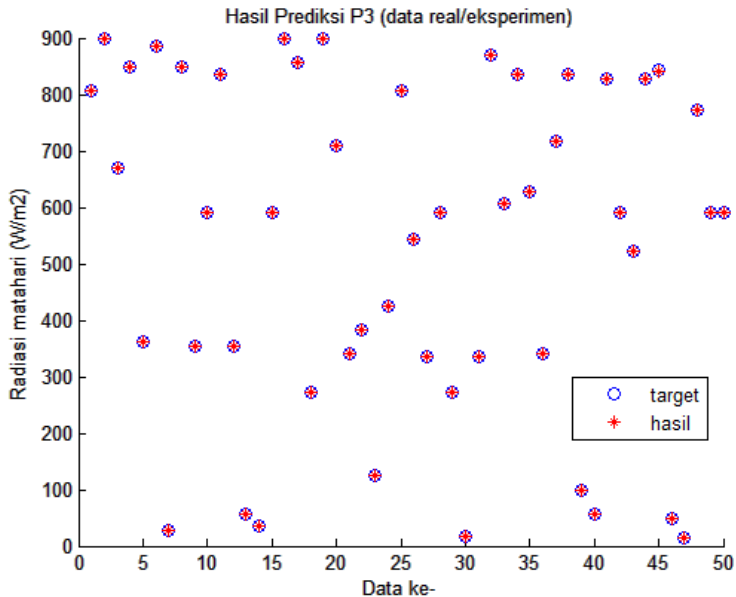


Gambar 4.4 menunjukkan bahwa hampir seluruh hasil estimasi belum memenuhi target estimasi yang mengartikan bahwa data *input* berupa temperatur dan kelembapan belum mampu untuk mengestimasi radiasi matahari. Target estimasi berupa radiasi matahari yang digunakan untuk memvalidasi model ANFIS. Nilai RMSE dari percobaan P1 yaitu bernilai 130,037.



**Gambar 4.5** Hasil percobaan P2 data *real*/eksperimen

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa sebagian besar hasil estimasi belum mendekati target estimasi yang mengartikan bahwa data *input* berupa temperatur udara, kelembapan, dan kecepatan angin belum mampu untuk mengestimasi radiasi matahari. Adapun nilai RMSE yang didapatkan yaitu 48,554.



**Gambar 4.6** Hasil percobaan P3 data *real*/eksperimen

Dari Gambar 4.6 menunjukkan bahwa hasil estimasi mampu mendekati nilai target yang mengartikan bahwa *input* berupa temperatur udara, kelembapan, kecepatan angin, dan arah angin mampu mengestimasi nilai *output* berupa intensitas radiasi matahari. Dan dari percobaan ini didapatkan hasil nilai RMSE yaitu 0,1922.

**Tabel 4.7** Perbandingan Hasil Estimasi P1, P2, dan P3 (Data *Real*)

Data Aktual Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	Output P1 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	Output P2 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	Output P3 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )
808	806	800	808
898	466	810	898
669	831	678	669
850	748	893	850

**Tabel 4.7** Lanjutan

Data Aktual Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Output</i> P1 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Output</i> P2 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Output</i> P3 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )
362	413	352	362
884	629	729	884
28	12	28	28
850	816	858	849
355	292	347	355
592	535	610	592
836	553	836	836
355	292	347	355
56	-51	43	56
35	15	96	35
592	535	610	592
898	626	911	898
857	817	876	856
272	234	302	272
898	772	815	898
710	790	773	710
341	523	488	341
383	360	384	383
125	34	198	125
425	770	542	425
808	806	800	808
543	502	444	543
334	332	331	334
592	636	593	592
272	234	302	272
17	13	36	17
334	332	331	334
870	763	890	870
606	836	632	606
836	844	839	836
627	652	622	627
341	487	359	341
717	766	661	717

**Tabel 4.7** Lanjutan

Data Aktual Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	Output P1 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	Output P2 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	Output P3 Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )
836	847	822	835
97	44	109	97
56	-51	43	56
829	700	741	829
592	636	593	592
522	722	524	522
829	799	846	829
843	822	847	841
49	114	44	49
15	52	29	15
773	681	808	773
592	589	592	592
592	535	610	592

Dari ketiga percobaan tersebut dilakukan perbandingan, Adapun perbandingan diantara ketiga percobaan tersebut terdapat dalam Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Perbandingan Percobaan P1, P2, dan P3 Menggunakan Data *Real*/Eksperimen

Percobaan	Jenis MF	Jumlah MF	Epoch	RMSE
P1	Gauss	3	100	130,037
P2	Gauss	3	100	48,554
P3	Gauss	3	100	0,1922

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa nilai RMSE terkecil dimiliki oleh percobaan P3 yaitu bernilai 0,1922 sedangkan nilai RMSE terbesar dimiliki oleh percobaan P1 yaitu bernilai 130,037. Percobaan P3 adalah yang terbaik dengan ditandai nilai RMSE terkecil diantara ketiga percobaan, sehingga dapat diartikan bahwa untuk mengestimasi radiasi matahari yang baik yaitu menggunakan data *input* berupa temperatur udara, kelembapan, kecepatan angin, dan arah angin.

### 4.2.3 Analisa perancangan model ANFIS

#### A. Perancangan terhadap Tipe Kurva *Membership Function* (MF)

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui jenis kurva *membership function* yang memiliki kemampuan yang terbaik dalam mengestimasi radiasi matahari. Data yang digunakan dalam percobaan ini yaitu data eksperimen. Adapun jenis kurva yang diuji ada 4 jenis kurva, yakni: segitiga, trapesium, *generalized bell*, dan *gaussian*. Semua kurva diberi perlakuan sama yaitu menggunakan 3 *membership function*, epoch sebanyak 100, dan output berupa *linear*. Berikut adalah hasil yang didapatkan :

**Tabel 4.9** Hasil Pengujian ANFIS dengan Perbedaan Jenis Kurva *Membership Function*

Jenis MF	Jumlah MF	Testing Error (RMSE)
trimf	3	0,37369
trapmf	3	10,92965
gbellmf	3	0,15038
gaussmf	3	0,14410

Dari Tabel 4.9 menunjukkan bahwa kurva gaussian memiliki nilai RMSE terkecil yaitu 0,14410 yang menunjukkan bahwa kurva *gaussian* dalam mengestimasi radiasi matahari lebih baik dibandingkan dengan kurva segitiga, kurva trapesium, dan kurva *generalized bell*.

#### B. Perancangan model terhadap jumlah *Membership Function* (MF)

Dari perancangan sebelumnya, didapatkan bahwa model ANFIS Estimasi Radiasi Matahari terbaik yaitu menggunakan kurva gaussian yang ditunjukkan pada tabel 4.7. Selanjutnya dilakukan perancangan dengan memvariasikan jumlah *membership function* yang akan digunakan. Adapun jumlah *membership function* yang digunakan yaitu 3 dan 5.

Pada percobaan menggunakan 3 *membership function* dilakukan dengan epoch sebanyak 100 sedangkan pada percobaan menggunakan 5 *membership function* dilakukan dengan epoch

sebanyak 5, hal tersebut dilakukan karena terbatasnya kemampuan komputer dalam melakukan komputasi. Berikut hasil perbandingan yang diperoleh :

**Tabel 4.10** Hasil Model ANFIS dengan Perbedaan Jumlah *Membership Function*

Jumlah MF	Kurva	Testing Error (RMSE)
3	gaussmf	0,144107
5	gaussmf	0,001647

Dari tabel 4.10 menunjukkan bahwa dalam model ANFIS Estimasi Radiasi Matahari menggunakan kurva Gaussian dengan 5 *membership function* lebih baik dari pada menggunakan 3 *membership function*. Selanjutnya hasil model ini akan digunakan untuk percobaan berikutnya.

#### 4.2.4 Analisa Uji Banding antara *Extreme Learning Machine* (ELM) dan ANFIS

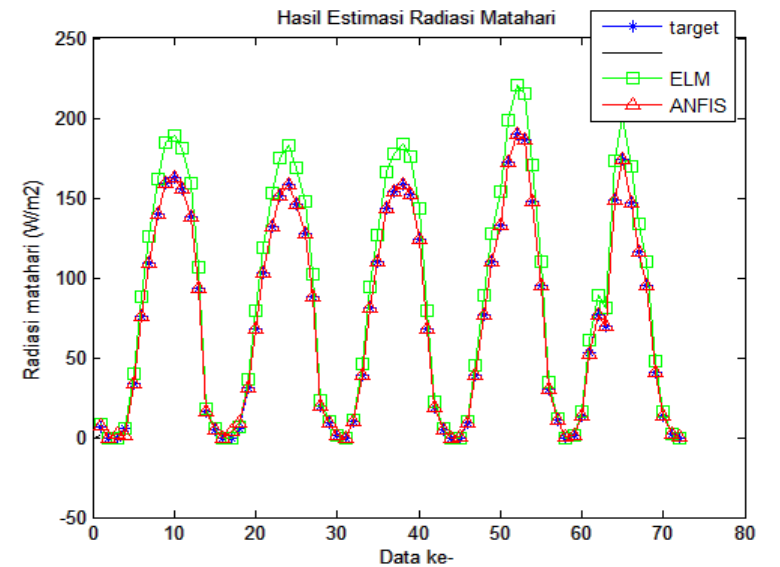
Pada percobaan ini, bertujuan untuk membandingkan hasil estimasi dengan menggunakan ELM dan ANFIS. Adapun data yang digunakan yaitu berasal dari penelitian sebelumnya yaitu milik Sdr. Nur Ulfa yang berjudul “Estimasi Radiasi Matahari Perjam pada Permukaan Horizontal dengan Extreme Learning Machine (Studi Kasus di Surabaya)” dengan mengambil data dari BMKG Perak I.

Berikut adalah hasil model ANFIS Estimator yang akan digunakan pada percobaan ini:

**Tabel 4.11** Model ANFIS untuk Estimasi

Keterangan	Model ANFIS
Jenis MF	Gaussian
Jumlah MF	5 5 5 5
Jumlah Rules	625
Jumlah input	4 (temperatur udara, kelembapan, kec. Angin, arah angin)
Jumlah output	1 (Intensitas Radiasi Matahari)
Epoch	5

Model diatas didapatkan dari percobaan sebelumnya mengenai analisa perancangan model ANFIS untuk Estimasi Radiasi Matahari. Selanjutnya, dilakukan simulasi dengan menggunakan MATLAB. Adapun hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Hasil Estimasi Radiasi Matahari ANFIS vs ELM

**Tabel 4.12** Parameter Hasil Estimasi Radiasi Matahari

Metode	Hasil Estimasi	
	RMSE	MAE
ANFIS	0,87	0,22
ELM	15,42	11,72

Dari Gambar 4.7 dan Tabel 4.12 menunjukkan bahwa metode ANFIS dapat mengestimasi lebih baik dibandingkan ELM dengan ditunjukkan parameter-parameter ANFIS yaitu RMSE bernilai 0,87 dan *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0,22. Adapun hasil output data keduanya berada di lampiran C.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan maka kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Parameter *Multi Input Single Output* arsitektur ANFIS agar didapatkan hasil estimasi yang optimal, pada data BMKG yaitu dengan 2 *input* yakni temperatur udara dan kelembapan. Untuk data eksperimen, hasil estimasi yang optimal yaitu dengan 4 *input* antara lain temperatur udara, kelembapan, kecepatan angin, arah angin dan *output* berupa radiasi matahari. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai RMSE yang terkecil.
2. Dari hasil pengujian model ANFIS dengan menggunakan data eksperimen, menunjukkan bahwa fungsi kurva *Gaussian* lebih baik dibandingkan dengan kurva Segitiga, Trapesium, dan *Generalized Bell* serta penggunaan jumlah *membership function* 5 memiliki hasil estimasi lebih baik daripada menggunakan *membership function* 3.
3. Dari hasil perbandingan antara estimasi dengan menggunakan metode ELM dan ANFIS, ANFIS memiliki RMSE dan MAE yang lebih kecil dibandingkan dengan ELM. Nilai RMSE terkecil yaitu sebesar 0,87 dan MAE terkecil sebesar 0,22. Hal ini menunjukkan pada kasus ini metode ANFIS memiliki kemampuan mengestimasi lebih baik dibandingkan dengan menggunakan ELM.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR PUSTAKA

- Andrian, Y. (2014). **“Analisis Kinerja Jaringan Saraf Tiruan Metode Backpropagation dalam Memprediksi Cuaca di Kota Medan”**. Seminar Nasional Ilmu Komputer 2014 (SNIKOM).
- Dewi, C., dkk. (2014). **“Prediksi Cuaca Pada Data Time Series Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)”**. Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK).
- Dhaneswara, G. (2004). **“Jaringan Saraf Tiruan Propagasi Balik Untuk Klasifikasi Data”**. Bandung : Universitas Katolik Parahyangan, Jurusan Ilmu Komputer.
- Hidayatullah, N.U. (2014). **“Estimasi Radiasi Matahari Perjam Pada Permukaan Horizontal Dengan Extreme Learning Machine (Studi Kasus di Surabaya)”**. Tugas Akhir ITS.
- Kassem, A.S., Aboukarima. A.M., & El-Ashmawy, NM. (2009). **“Development of Neural Network Model to Estimate Hourly Total and Diffuse Solar Radiation on Horizontal Surface at Alexandria City (Egypt)”**. Journal of Applied Science Reserch 5(11).
- Prakoso, M.Y.T. (2015). **“Peramalan Indeks Harga Konsumen dengan Jaringan Syaraf Tiruan dan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)”**. Jember: Universitas Jember, Prodi Matematika.
- Prawirowardoyo, S. (1996). **Meteorologi**. Bandung : ITB
- Rozi, F., dkk. (2016). **“Metode Siklis Dan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Untuk Peramalan Cuaca”**. JIPI (Jurnal Ilmiah Pendidikan Informatika).
- Sabrian, P.G. (2013). **Kajian Potensi Energi Matahari di Pulau Tarakan. Program Studi Meteorologi**. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Santoso, H.E. (2016) **“Implementation of Dual Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Anfis) Control in Two Positions of Solar Tracker System To Improve Photovoltaic Performance”**. Final Project of ITS.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **LAMPIRAN A**

### ***LISTING PROGRAM***

#### **1. PROGRAM PERCOBAAN MULTI INPUT SINGLE OUTPUT (MISO) (Data BMKG)**

```
clear all
clc
close all
% Memanggil Data
Load Data_BMKG;
%%%% PERCOBAAN P1 MISO (Data BMKG)
% Membuat matriks Data P1
Input_P1 = Data_BMKG(:,1:2);
Output_P1 = Data_BMKG(:,5);
Data_P1 = [Input_P1 Output_P1];
% Membuat matriks Data Training P1
Trn_P1 = Data_P1(1:5825,:);
% Membuat matriks Data Testing P1
Tes_P1 = Data_P1(5826:7281,:);
% Membuat matriks Input untuk validasi
Input_tes_P1 = Tes_P1(:,1:2);
% Program Generate Fuzzy
% Dengan Jumlah MF 3, Tipe MF Input yaitu Gaussian,
dan... .. Ouput berupa linear
In_fis = genfis(Trn_P1, 3, 'gaussmf', 'linear');
%Program Training ANFIS
%Dengan Jumlah MF 3 dan epoch sebanyak 100
Out_fis = anfis(Trn_P1, In_fis, 100); %Out_fis adalah
hasil model ANFIS yang telah melalui proses training.
% Menghasilkan Output P1 dengan "evalfis"
Hasil_P1_real = evalfis(Input_tes_P1, Out_fis);
% Selanjutnya hasil estimasi dianalisa dengan excell.
%%%% PERCOBAAN P2 MISO (Data BMKG)
% Membuat matriks Data P2
Input_P2 = Data_BMKG(:,1:3);
Output_P2 = Data_BMKG(:,5);
Data_P2 = [Input_P2 Output_P2];
% Membuat matriks Data Training P2
Trn_P2 = Data_P2(1:5825,:);
% Membuat matriks Data Testing P2
Tes_P2 = Data_P2(5826:7281,:);
% Membuat matriks Input untuk validasi
Input_tes_P2 = Tes_P2(:,1:3);
% Program Generate Fuzzy
```

```

% Dengan Jumlah MF 3, Tipe MF Input yaitu Gaussian,
dan... ... Ouput berupa linear
In_fisP2 = genfis(Trn_P2, 3, 'gaussmf', 'linear');
%Program Training ANFIS
%Dengan Jumlah MF 3 dan epoch sebanyak 100
Out_fisP2 = anfis(Trn_P2, In_fisP2, 100); %Out_fis
adalah hasil model ANFIS yang telah melalui proses
training.
% Menghasilkan Output P2 dengan "evalfis"
Hasil_P2_real = evalfis(Input_tes_P2, Out_fisP2);
% Selanjutnya hasil estimasi dianalisa dengan excell.
%%% PERCOBAAN P3 MISO (Data BMKG)
% Membuat matriks Data P3
Input_P3 = Data_BMKG(:,1:4);
Output_P3 = Data_BMKG(:,5);
Data_P3 = [Input_P3 Output_P3];
% Membuat matriks Data Training P3
Trn_P3 = Data_P3(1:5825,:);
% Membuat matriks Data Testing P3
Tes_P3 = Data_P3(5826:7281,:);
% Membuat matriks Input untuk validasi
Input_tes_P3 = Tes_P3(:,1:4);
% Program Generate Fuzzy
% Dengan Jumlah MF 3, Tipe MF Input yaitu Gaussian,
dan... ... Ouput berupa linear
In_fisP3 = genfis(Trn_P3, 3,'gaussmf', 'linear');
%Program Training ANFIS
%Dengan Jumlah MF 3 dan epoch sebanyak 100
Out_fisP3 = anfis(Trn_P3, In_fisP3, 100); %Out_fis
adalah hasil model ANFIS yang telah melalui proses
training.
% Menghasilkan Output P3 dengan "evalfis"
Hasil_P3_real = evalfis(Input_tes_P3, Out_fisP3);
% Selanjutnya hasil estimasi dianalisa dengan excell.

```

## 2. PROGRAM PERCOBAAN *MULTI INPUT SINGLE OUTPUT (MISO) (Data Real)*

```

clear all
clc
close all

% Memanggil Data
Load Data_Real;
%%%% PERCOBAAN P1 MISO (Data Real)
% Membuat matriks Data P1
Input_P1 = Data_Real(:,1:2);
Output_P1 = Data_Real(:,5);
Data_P1 = [Input_P1 Output_P1];
% Membuat matriks Data Training P1
Trn_P1 = Data_P1(1:201,:);
% Membuat matriks Data Testing P1
Tes_P1 = Data_P1(202:251,:);
% Membuat matriks Input untuk validasi
Input_tes_P1 = Tes_P1(:,1:2);
% Program Generate Fuzzy
% Dengan Jumlah MF 3, Tipe MF Input yaitu Gaussian,
dan... .. Ouput berupa linear
In_fis = genfis(Trn_P1, 3, 'gaussmf', 'linear');
% Program Training ANFIS
%Dengan Jumlah MF 3 dan epoch sebanyak 100
Out_fis = anfis(Trn_P1, In_fis, 100); %Out_fis adalah
hasil model ANFIS yang telah melalui proses training.
% Menghasilkan Output P1 dengan "evalfis"
Hasil_P1_real = evalfis(Input_tes_P1, Out_fis);
% Selanjutnya hasil estimasi dianalisa dengan excell.
%%%% PERCOBAAN P2 MISO (Data Real)
% Membuat matriks Data P2
Input_P2 = Data_Real(:,1:3);
Output_P2 = Data_Real(:,5);
Data_P2 = [Input_P2 Output_P2];
% Membuat matriks Data Training P2
Trn_P2 = Data_P2(1:201,:);

% Membuat matriks Data Testing P2
Tes_P2 = Data_P2(202:251,:);
% Membuat matriks Input untuk validasi
Input_tes_P2 = Tes_P2(:,1:3);
% Program Generate Fuzzy
% Dengan Jumlah MF 3, Tipe MF Input yaitu Gaussian,
dan... .. Ouput berupa linear
In_fisP2 = genfis(Trn_P2, 3, 'gaussmf', 'linear');

```

```

%Program Training ANFIS
%Dengan Jumlah MF 3 dan epoch sebanyak 100
Out_fisP2 = anfis(Trn_P2, In_fisP2, 100); %Out_fis
adalah hasil model ANFIS yang telah melalui proses
training.
% Menghasilkan Output P2 dengan "evalfis"
Hasil_P2_real = evalfis(Input_tes_P2, Out_fisP2);
% Selanjutnya hasil estimasi dianalisa dengan excell.
%%% PERCOBAAN P3 MISO (Data Real)
%Membuat matriks Data P3
Input_P3 = Data_Real(:,1:4);
Output_P3 = Data_Real(:,5);
Data_P3 = [Input_P3 Output_P3];
% Membuat matriks Data Training P3
Trn_P3 = Data_P3(1:201,:);
% Membuat matriks Data Testing P3
Tes_P3 = Data_P3(202:251,:);
% Membuat matriks Input untuk validasi
Input_tes_P3 = Tes_P3(:,1:4);
% Program Generate Fuzzy
% Dengan Jumlah MF 3, Tipe MF Input yaitu Gaussian,
dan... .. Ouput berupa linear
In_fisP3 = genfis(Trn_P3, 3, 'gaussmf', 'linear');
%Program Training ANFIS
%Dengan Jumlah MF 3 dan epoch sebanyak 100
Out_fisP3 = anfis(Trn_P3, In_fisP3, 100); %Out_fis
adalah hasil model ANFIS yang telah melalui proses
training.
% Menghasilkan Output P3 dengan "evalfis"
Hasil_P3_real = evalfis(Input_tes_P3, Out_fisP3);
% Selanjutnya hasil estimasi dianalisa dengan excell.

```

### 3. PROGRAM MEMBANDINGKAN HASIL ESTIMASI *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* DAN *Extreme Learning Machine*

```

clear all
clc
close all
% Memanggil Data
Load Data_Nur_Ulfa;
% Membuat matriks Data Training P1
Trn_Data = Data_Nur_Ulfa(1:365,:);
% Membuat matriks Data Testing P1
Tes_Data = Data_Nur_Ulfa(366:437,:);
% Membuat matriks Input untuk validasi
Input_validasi = Tes_Data(:,1:2);
% Program Generate Fuzzy
% Dengan Jumlah MF 3, Tipe MF Input yaitu Gaussian,
dan... ... Ouput berupa linear
In_fis = genfis(Trn_Data, 5, 'gaussmf', 'linear');
%In_fis adalah fis yang nanti akan ditraining
%Program Training ANFIS
%Dengan In_fis sebagai fuzzy yang ditraining dan epoch
sebanyak 5
Out_fis = anfis(Trn_Data, In_fis, 5); %Out_fis adalah
hasil model ANFIS yang telah melalui proses training.
% Menghasilkan Output dengan "evalfis"
Hasil_ANFIS = evalfis(Input_validasi, Out_fis);
% Selanjutnya hasil estimasi dianalisa dengan excell.
% Membuat grafik perbandingan ANFIS vs ELM
% Memanggil data hasil estimasi ELM
Load hasil_ELM;
Data_aktual = Tes_Data(:,5); %Data aktual yaitu
sebagai target estimasi
Sumbu_x = [1:72]'; % untuk urutan data pada sumbu x
plot(Sumbu_x, Data_aktual, '-*');
hold on
plot(Sumbu_x, hasil_ELM, '-gs');
hold on
plot(Sumbu_x, Hasil_ANFIS, '-r^');
xlabel('Data ke-');
ylabel('Radiasi matahari (W/m2)');
title('Hasil Estimasi Radiasi Matahari');
legend('target', 'ELM', 'ANFIS');

```



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LAMPIRAN B

### DATA PENGUKURAN EKSPERIMEN

**Tabel B.1** Data Pengukuran Eksperimen

Data ke-	Temperatur (°C)	Kelembapan (%)	Kec. Angin (m/s)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (W/m <sup>2</sup> )
1	33,9	53,1	1,27	79	717
2	34,3	51	1,42	30	870
3	36,2	47,5	0,65	83	850
4	32,5	64,8	2,45	80	97
5	36	46,9	1	80	822
6	35,6	55,4	0,56	200	766
7	36,2	46,8	0,72	87	857
8	36,1	48,4	1,38	30	864
9	35,2	49,6	0,48	230	550
10	34,1	52,4	1,24	320	557
11	36	46,9	1	80	822
12	36,6	47	1,54	82	669
13	36	54,6	2,54	80	829
14	33,6	61,9	0,85	40	494
15	32,3	64,1	0,84	105	15
16	31,2	62	0,02	125	14
17	34,8	48,3	1,57	65	877
18	36,4	57,8	0,71	103	870
19	35,7	58,7	1,5	10	292
20	37,3	42,8	0,55	32	334
21	35	49	1,17	110	891
22	38,2	50,7	0,76	160	362
23	35,9	45,8	1,9	67	738
24	34,3	54	0	125	898
25	34,7	47,9	1,1	37	836
26	35,9	46,1	1,49	84	843
27	34,8	48,3	1,57	65	877

**Tabel B.1** Lanjutan

Data ke-	Temperatur (°C)	Kelembapan (%)	Kec. Angin (m/s)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (W/m <sup>2</sup> )
28	34,3	51	1,42	30	870
29	35,4	54,8	0,3	161	877
30	35,5	46,8	0,03	130	606
31	35,9	54,8	3,11	100	717
32	35,7	48,5	0,9	75	898
33	35,9	47,5	0,64	115	850
34	32,4	60,3	0	133	56
35	35,5	46,8	0,03	130	606
36	33,9	53,1	1,27	79	717
37	34	55,6	1,21	130	898
38	37	47	0,41	50	773
39	36,9	55,9	0,51	170	341
40	33,3	58,3	0,75	75	35
41	33,5	58	0,15	110	35
42	36,2	46	1,38	15	864
43	34,3	51	1,42	30	870
44	35,5	46,8	0,03	130	606
45	35,5	44,3	1,02	73	822
46	34,8	54	1,41	160	453
47	35,7	58,7	1,5	10	292
48	36,2	47,5	0,65	83	850
49	36,2	44,6	0,49	27	341
50	34,3	54	0	125	898
51	36,1	48,2	0,76	80	843
52	37,5	53,2	0,12	70	355
53	36,3	47,4	0,3	75	836
54	36,5	46,1	1,09	40	425
55	35,8	46,8	0,5	100	808
56	35,8	46,8	0,5	100	808
57	34,7	54,2	0,9	85	418

**Tabel B.1** Lanjutan

Data ke-	Temperatur	Kelembapan	Kec. Angin	Arah angin	Radiasi matahari
	(°C)	(%)	(m/s)	(°)	(W/m <sup>2</sup> )
58	35,5	46,8	0,03	130	606
59	37,3	42,8	0,55	32	334
60	36,1	48,4	1,38	30	864
61	36,6	47	1,54	82	669
62	34,2	49,7	0,63	100	836
63	35,6	59,8	0,51	70	272
64	37,4	50,5	2,33	60	592
65	32,3	64,1	0,84	105	15
66	36,2	44,5	0,38	127	543
67	35,8	46,6	0,69	90	829
68	36,5	44,5	0,05	25	592
69	36,1	56,6	1,04	70	522
70	33	58	2,35	15	28
71	35,8	57,6	1,87	120	494
72	34,2	49,7	0,63	100	836
73	35,1	53,3	0,52	140	481
74	33,9	52,8	0,18	72	710
75	35,4	54,8	0,3	161	877
76	35,1	53,3	0,52	140	481
77	33,9	53,8	2,12	77	689
78	33,7	53,7	1,32	55	703
79	36,2	46	1,38	15	864
80	35,7	48,5	0,9	75	898
81	34,2	53,8	0,43	140	891
82	35,5	46,8	1,84	95	857
83	36	46,3	0,35	70	808
84	32,3	62,9	0,65	110	56
85	36	46,9	1	80	822
86	36,2	44,5	0,38	127	543
87	36	46,3	0,35	70	808

**Tabel B.1** Lanjutan

Data ke-	Temperatur	Kelembapan	Kec. Angin	Arah angin	Radiasi matahari
	(°C)	(%)	(m/s)	(°)	(W/m <sup>2</sup> )
88	34,3	51	1,42	30	870
89	35,7	58,7	1,5	10	292
90	32,9	58,4	0,67	120	21
91	36	56,8	0,88	42	857
92	36,5	44,5	0,05	25	592
93	36,4	57,8	0,71	103	870
94	32,1	63,9	0,47	95	125
95	36,7	51,8	0,83	90	627
96	36,5	44,5	0,05	25	592
97	35,9	46,1	1,49	84	843
98	34,7	54,2	0,9	85	418
99	33,9	52,8	0,18	72	710
100	37,3	42,8	0,55	32	334
101	38,2	50,7	0,76	160	362
102	37,3	42,8	0,55	32	334
103	36,2	44,6	0,49	27	341
104	34,4	49,2	0	75	794
105	34,1	52,4	1,24	320	557
106	35,3	47,8	1,43	98	857
107	33,9	53,8	2,12	77	689
108	35,6	56,8	0,6	142	884
109	36,2	57,4	0,55	108	829
110	32,4	63	1,56	70	49
111	32,5	64,7	2,2	80	97
112	36,2	46,8	0,72	87	857
113	35,4	51,6	0,02	340	592
114	37,5	53,2	0,12	70	355
115	35,8	57,6	1,87	120	494
116	36,2	44,5	0,38	127	543
117	36,1	48,4	1,38	30	864

**Tabel B.1** Lanjutan

Data ke-	Temperatur	Kelembapan	Kec. Angin	Arah angin	Radiasi matahari
	(°C)	(%)	(m/s)	(°)	(W/m <sup>2</sup> )
118	35,4	53	0,21	120	717
119	35	49	1,17	110	891
120	31,2	62	0,02	125	14
121	35	56	0,42	90	474
122	33,9	56,5	5,1	65	49
123	36,1	56,6	1,04	70	522
124	36,7	51,8	0,83	90	627
125	32,5	64,8	2,45	80	97
126	33,9	56,5	5,1	65	49
127	35,6	59,8	0,51	70	272
128	33,6	60,6	1,52	110	17
129	36,7	55,3	1,03	61	836
130	38,2	55,7	0,72	160	383
131	32,4	60,3	0	133	56
132	35,4	51,6	0,02	340	592
133	36	55,7	0,83	183	850
134	35	55,7	0,79	70	467
135	36	46,3	0,35	70	808
136	36,4	46	0,89	40	857
137	36,3	47,4	0,3	75	836
138	36,1	51,3	1,35	100	522
139	35,3	47,8	1,43	98	857
140	35,9	45,8	1,9	67	738
141	35,9	45,8	1,9	67	738
142	33,1	62,8	2,15	110	84
143	34,8	48,3	1,57	65	877
144	32,1	61,4	0,46	72	7
145	35,7	47	1	120	850
146	34,7	47,9	1,1	37	836
147	33	63,5	0,87	95	77

**Tabel B.1** Lanjutan

Data ke-	Temperatur	Kelembapan	Kec. Angin	Arah angin	Radiasi matahari
	(°C)	(%)	(m/s)	(°)	(W/m <sup>2</sup> )
148	37,4	50,5	2,33	60	592
149	36,4	46	0,89	40	857
150	36,1	51,3	1,35	100	522
151	35,2	49,6	0,48	230	550
152	36,2	46,8	0,72	87	857
153	36,9	55,9	0,51	170	341
154	33,9	56,5	5,1	65	49
155	35,8	53,8	1,54	170	836
156	32,8	64	0,72	90	77
157	36,2	44,5	0,38	127	543
158	33,1	62,8	2,15	110	84
159	34,2	49,7	0,63	100	836
160	34,8	48,3	1,57	65	877
161	34,2	53,8	0,43	140	891
162	35,8	46,8	0,5	100	808
163	33,1	62,8	2,15	110	84
164	35,6	56,8	0,6	142	884
165	34,2	49,7	0,63	100	836
166	33,1	63,5	1,54	90	77
167	34	55,6	1,21	130	898
168	33,3	58,3	0,75	75	35
169	36,2	44,5	0,38	127	543
170	36,2	44,6	0,49	27	341
171	33,7	53,7	1,32	55	703
172	35	56	0,42	90	474
173	34,4	49,2	0	75	794
174	34,6	49,2	2,13	70	891
175	35,8	46,6	0,69	90	829
176	36,9	55,9	0,51	170	341
177	35,7	54,1	0,46	90	508

**Tabel B.1** Lanjutan

Data ke-	Temperatur	Kelembapan	Kec. Angin	Arah angin	Radiasi matahari
	(°C)	(%)	(m/s)	(°)	(W/m <sup>2</sup> )
178	37,1	48,8	0,17	110	829
179	32,5	61,4	0,35	30	14
180	34,8	54	1,41	160	453
181	33,6	60,6	1,52	110	17
182	35,6	54	0,61	300	850
183	34,6	49,2	2,13	70	891
184	34,4	49,2	0	75	794
185	38,2	55,7	0,72	160	383
186	35,5	46,8	0,03	130	606
187	36,2	44,6	0,49	27	341
188	35,7	47	1	120	850
189	34,6	49,2	2,13	70	891
190	35,4	53	0,21	120	717
191	35,9	46,1	1,49	84	843
192	36,2	46,8	0,72	87	857
193	35,9	47,5	0,64	115	850
194	33,2	57,1	0,29	87	35
195	35,7	54,1	0,46	90	508
196	35,5	44,3	1,02	73	822
197	32,5	64,7	2,2	80	97
198	35,9	46,1	1,49	84	843
199	35,5	46,8	1,84	95	857
200	35,8	53,8	1,54	170	836
201	36,1	48,4	1,38	30	864
202	35,8	46,8	0,5	100	808
203	34	55,6	1,21	130	898
204	36,6	47	1,54	82	669
205	36	55,7	0,83	183	850
206	38,2	50,7	0,76	160	362
207	35,6	56,8	0,6	142	884



**Tabel B.1** Lanjutan

Data ke-	Temperatur	Kelembapan	Kec. Angin	Arah angin	Radiasi matahari
	(°C)	(%)	(m/s)	(°)	(W/m <sup>2</sup> )
208	33	58	2,35	15	28
209	35,9	47,5	0,64	115	850
210	37,5	53,2	0,12	70	355
211	36,5	44,5	0,05	25	592
212	36,7	55,3	1,03	61	836
213	37,5	53,2	0,12	70	355
214	32,4	60,3	0	133	56
215	33,3	58,3	0,75	75	35
216	36,5	44,5	0,05	25	592
217	34,3	54	0	125	898
218	36,2	46,8	0,72	87	857
219	35,6	59,8	0,51	70	272
220	35,7	48,5	0,9	75	898
221	33,9	52,8	0,18	72	710
222	36,2	44,6	0,49	27	341
223	38,2	55,7	0,72	160	383
224	32,1	63,9	0,47	95	125
225	36,5	46,1	1,09	40	425
226	35,8	46,8	0,5	100	808
227	36,2	44,5	0,38	127	543
228	37,3	42,8	0,55	32	334
229	35,4	51,6	0,02	340	592
230	35,6	59,8	0,51	70	272
231	33,6	60,6	1,52	110	17
232	37,3	42,8	0,55	32	334
233	36,4	57,8	0,71	103	870
234	35,5	46,8	0,03	130	606
235	34,2	49,7	0,63	100	836
236	36,7	51,8	0,83	90	627
237	36,9	55,9	0,51	170	341

**Tabel B.1** Lanjutan

Data ke-	Temperatur	Kelembapan	Kec. Angin	Arah angin	Radiasi matahari
	(°C)	(%)	(m/s)	(°)	(W/m <sup>2</sup> )
238	33,9	53,1	1,27	79	717
239	36,3	47,4	0,3	75	836
240	32,5	64,7	2,2	80	97
241	32,4	60,3	0	133	56
242	36,2	57,4	0,55	108	829
243	35,4	51,6	0,02	340	592
244	36,1	56,6	1,04	70	522
245	35,8	46,6	0,69	90	829
246	36,1	48,2	0,76	80	843
247	32,4	63	1,56	70	49
248	32,3	64,1	0,84	105	15
249	37	47	0,41	50	773
250	37,4	50,5	2,33	60	592
251	36,5	44,5	0,05	25	592

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LAMPIRAN C

### PERBANDINGAN DATA AKTUAL DAN HASIL *OUTPUT* DENGAN METODE *EXTREME LEARNING MACHINE* (ELM) DAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE* *SYSTEM* (ANFIS)

**Tabel C.1** Hasil Perbandingan Data Aktual Hasil *Output* dengan  
ELM dan ANFIS

Data Aktual Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Output</i> ELM Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Output</i> ANFIS Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )
7	8	7
0	0	0
0	0	2
6	6	1
34	40	34
76	88	76
109	126	109
140	162	140
159	185	159
163	189	163
156	181	156
138	159	138
93	107	93
16	18	16
5	6	5
0	0	0
0	0	4
6	7	9
31	36	31
68	79	68
103	119	103
132	153	132
151	175	151
158	183	158
146	169	146
128	148	128

**Tabel C.1** Lanjutan

Data Aktual Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Ouput</i> ELM Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Output</i> ANFIS Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )
88	102	88
20	23	20
9	10	9
1	1	1
0	0	0
10	11	10
39	46	39
81	94	81
110	127	110
143	166	143
154	178	154
158	184	158
152	176	152
124	143	124
68	79	68
19	22	19
5	6	5
0	0	0
0	0	0
9	10	9
39	45	39
77	89	77
110	128	110
133	154	133
172	199	172
190	221	190
186	215	186
148	171	148
95	110	95
30	35	30
11	12	11
0	0	0
1	1	1
14	16	14

**Tabel C.1** Lanjutan

Data Aktual Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Ouput</i> ELM Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )	<i>Output</i> ANFIS Radiasi Matahari (W/ m <sup>2</sup> )
53	61	53
77	89	77
70	81	70
149	173	149
174	201	174
147	170	147
116	134	116
95	110	95
41	48	41
14	16	14
2	2	2
0	0	0

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LAMPIRAN D

### ANFIS Source Code

```
function [t_fismat, t_error, stepsize, c_fismat,
c_error] ...
    = anfis(trn_data, in_fismat, t_opt, d_opt,
chk_data, method)

error(nargchk(1,6,nargin))
error(nargchk(0,5,nargout))

% Change the following to set default train
options.
default_t_opt = [10;    % training epoch number
    0;    % training error goal
    0.01;    % initial step size
    0.9;    % step size decrease rate
    1.1;    % step size increase rate
    1]; % add a bias to handle zero firing
error

% Change the following to set default display
options.
default_d_opt = [1; % display ANFIS information
    1;    % display error measure
    1;    % display step size
    1]; % display final result
% Change the following to set default MF type
and numbers
default_mf_type = 'gbellmf';    % default MF
type
default_outmf_type='linear';
default_mf_number = 2;
if nargin <= 5,
    method = 1;
end
if nargin <= 4,
    chk_data = [];
```



```

end
if nargin <= 3,
    d_opt = default_d_opt;
end
if nargin <= 2,
    t_opt = default_t_opt;
end
if nargin <= 1,
    in_fismat = default_mf_number;
end

% If fismat, d_opt or t_opt are nan's or []'s,
% replace them with default settings
if isempty(in_fismat)
    in_fismat = default_mf_number;
elseif ~isstruct(in_fismat) & length(in_fismat)
== 1 & isnan(in_fismat),
    in_fismat = default_mf_number;
end
if isempty(t_opt),
    t_opt = default_t_opt;
elseif length(t_opt) == 1 & isnan(t_opt),
    t_opt = default_t_opt;
end
if isempty(d_opt),
    d_opt = default_d_opt;
elseif length(d_opt) == 1 & isnan(d_opt),
    d_opt = default_d_opt;
end
if isempty(method)
    method = 1;
elseif length(method) == 1 & isnan(method),
    method = 1;
elseif method>1 | method<0
    method =1;
end
% If d_opt or t_opt is not fully specified, pad
% it with default values.
if length(t_opt) < 6,
    tmp = default_t_opt;
    tmp(1:length(t_opt)) = t_opt;

```

```

        t_opt = tmp;
    end
    if length(d_opt) < 5,
        tmp = default_d_opt;
        tmp(1:length(d_opt)) = d_opt;
        d_opt = tmp;
    end

    % If entries of d_opt or t_opt are nan's,
    % replace them with default settings
    nan_index = find(isnan(d_opt)==1);
    d_opt(nan_index) = default_d_opt(nan_index);
    nan_index = find(isnan(t_opt)==1);
    t_opt(nan_index) = default_t_opt(nan_index);

    % Generate FIS matrix if necessary
    % in_fismat is a single number or a vector
    if class(in_fismat) ~= 'struct',
        in_fismat = genfis1(trn_data, in_fismat,
            default_mf_type);
    end

    if t_opt(end)==1 % adding bias if user has
    specified
        in_fismat.bias = 0;
    end

    % More input/output argument checking
    if nargin <= 4 & nargsout > 3,
        error('Too many output arguments!');
    end
    if length(t_opt) ~= 6,
        error('Wrong length of t_opt!');
    end
    if length(d_opt) ~= 4,
        error('Wrong length of d_opt!');
    end

    max_iRange = max([trn_data;chk_data],[],1);

```

```

min_iRange = min([trn_data;chk_data],[],1);
%Set input and output ranges to match training &
checking data
for iInput = 1:length(in_fismat.input)
    in_fismat.input(iInput).range =
    [min_iRange(1,iInput), ...
     max_iRange(1,iInput)];
end
for iOutput = 1:length(in_fismat.output)
    in_fismat.output(iOutput).range =
    [min_iRange(1,iInput+iOutput), ...
     max_iRange(1,iInput+iOutput)];
end
%Make sure input MF's cover complete range
for iInput = 1:length(in_fismat.input)
    [oLow,oHigh,MFBounds] =
    localFindMFOrder(in_fismat.input(iInput).mf);
    %First ensure range limits are covered
    if all(isfinite(MFBounds(:,1))) & ...

in_fismat.input(iInput).mf(oLow(1)).params(1) >
min_iRange(1,iInput)
    %Lower limit

in_fismat.input(iInput).mf(oLow(1)).params(1) =
    (1-sign(min_iRange(1,iInput))*0.1)...
    *min_iRange(1,iInput)-eps;
end
if all(isfinite(MFBounds(:,2))) & ...

in_fismat.input(iInput).mf(oHigh(end)).params(en
d) < max_iRange(1,iInput)
    %Upper limit

in_fismat.input(iInput).mf(oHigh(end)).params(en
d) = (1+sign(min_iRange(1,iInput))*0.1)...
    *max_iRange(1,iInput)+eps;
end
%Now ensure that whole data range is covered
if ~any(all(~isfinite(MFBounds),2))
    %Don't have any set with +- inf bounds

```

```

        for iMF = 1:numel(oLow)-1
            %Loop through sets and assign corner
points to overlap
            if
in_fismat.input(iInput).mf(oLow(iMF)).params(end
) < ...

in_fismat.input(iInput).mf(oLow(iMF+1)).params(1
)

in_fismat.input(iInput).mf(oLow(iMF)).params(end
) = (1+sign(min_iRange(1,iInput))*0.01) ...

*in_fismat.input(iInput).mf(oLow(iMF+1)).params(
1) + eps;
            end
        end
    end

end

% Start the real thing!
if nargout == 0,
    anfismex(trn_data, in_fismat, t_opt, d_opt,
chk_data, method);
    return
elseif nargout == 1,
    [t_fismat] = ...
        anfismex(trn_data, in_fismat, t_opt,
d_opt, chk_data, method);
elseif nargout == 2,
    [t_fismat, t_error] = ...
        anfismex(trn_data, in_fismat, t_opt,
d_opt, chk_data, method);
elseif nargout == 3,
    [t_fismat, t_error, stepsize] = ...
        anfismex(trn_data, in_fismat, t_opt,
d_opt, chk_data, method);
elseif nargout == 4,

```

```

        [t_fismat, t_error, stepsize, c_fismat] =
    ...
        anfismex(trn_data, in_fismat, t_opt,
d_opt, chk_data, method);
elseif nargout == 5,
    [t_fismat, t_error, stepsize, c_fismat,
c_error] = ...
        anfismex(trn_data, in_fismat, t_opt,
d_opt, chk_data, method);
end
if isfield(t_fismat, 'bias')
    t_fismat = rmfield(t_fismat, 'bias');
end
if nargout>3 && isfield(c_fismat, 'bias')
    c_fismat = rmfield(c_fismat, 'bias');
end

%-----
function [orderLow,orderHigh,MFBounds] =
localFindMFOrder(MF)
%Function to find the order in which the mf's
cover the range
%orderLow is the order of the lower mf 'corners'
%orderHigh is the order of the higher mf
'corners'

MFBounds = zeros(numel(MF),2);
for iMF = 1:numel(MF)
    switch lower(MF(iMF).type)
        case {'trimf','trapmf','pimf'}
            MFBounds(iMF,:) = [MF(iMF).params(1),
MF(iMF).params(end)];
        case 'smf'
            MFBounds(iMF,:) = [MF(iMF).params(1),
inf];
        case 'zmf'
            MFBounds(iMF,:) = [-inf,
MF(iMF).params(end)];
        otherwise

```

```
MFBounds(iMF,:) = [-inf, inf];  
    end  
end  
  
[junk,orderLow] =  
sort(MFBounds(:,1),1,'ascend');  
if nargout >= 2  
    [junk,orderHigh] =  
sort(MFBounds(:,2),1,'ascend');  
end
```

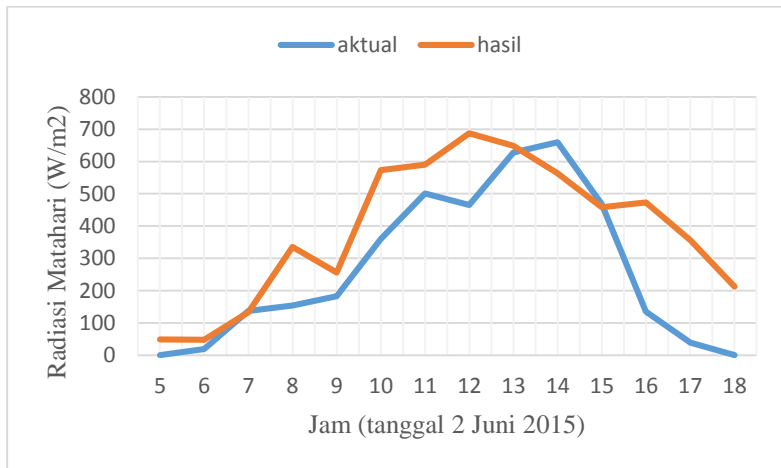
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LAMPIRAN E

### PENGUJIAN ESTIMASI BERDASARKAN MUSIM

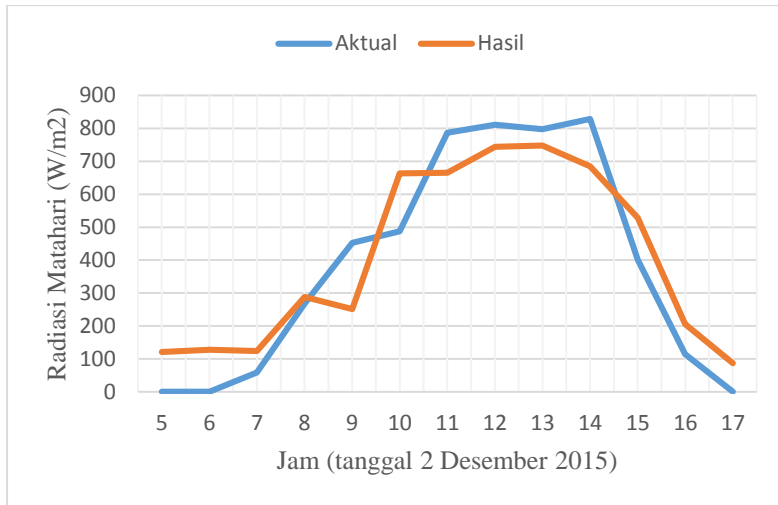
Pada pengujian estimasi ini dilakukan berdasarkan musim dengan menggunakan data BMKG Perak II Surabaya rentang bulan Januari 2015 hingga Agustus 2016. Pembagian musim dibedakan menjadi 2 yaitu musim hujan dan musim kemarau. Adapun pada musim hujan, data pelatihan yang digunakan yaitu bulan januari-mei dan untuk validasi memakai data bulan juni. Sedangkan pada musim kemarau, data pelatihan yang dipakai yaitu bulan juli-november dan data validasi digunakan data bulan desember, terkecuali untuk tahun 2016 yaitu data pelatihan menggunakan data bulan juni-juli dan data validasi bulan agustus.

Pengujian pada tahun 2015 ditampilkan dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



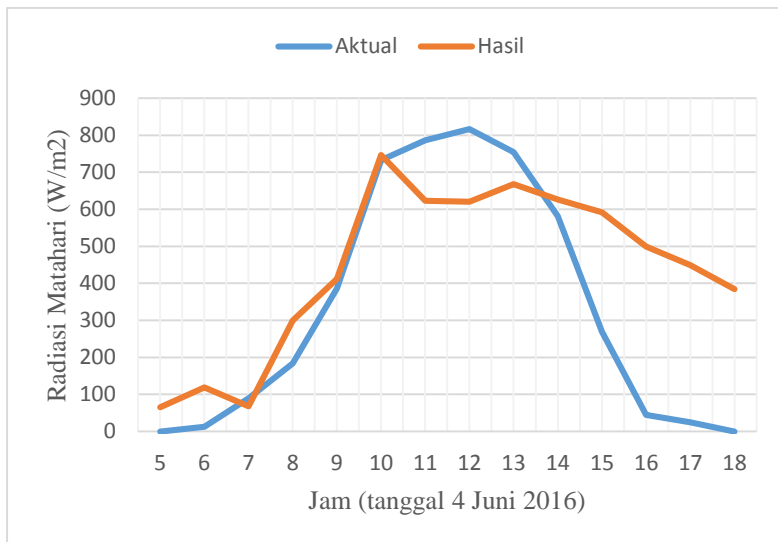
**Gambar 1** Hasil estimasi pada musim hujan 2015



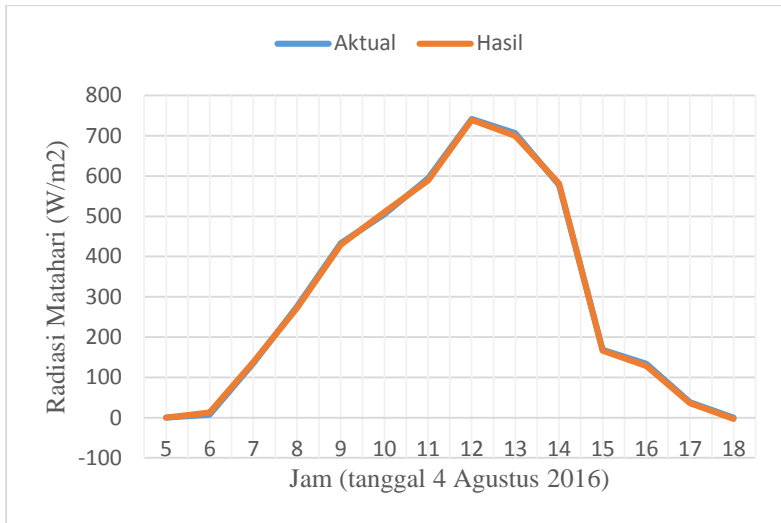


**Gambar 2** Hasil estimasi pada musim kemarau 2015

Dan untuk pengujian pada tahun 2016 ditampilkan dalam Gambar 3 dan Gambar 4.



**Gambar 3** Hasil estimasi pada musim hujan 2016



**Gambar 4** Hasil estimasi pada musim kemarau 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Bogor pada tanggal 13 Februari 1995 dari ayah bernama Agus Pranoto dan ibu bernama Neni Suryani. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Jalan Sukamenak, Perumahan Permata Kopo Blok GA No. 30 Desa Sayati, Kelurahan Sukamenak, Kabupaten Bandung. Pada tahun 2007, penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Banjarsari III. Tahun 2010 menyelesaikan pendidikan tingkat menengah di SMPN 9 Bandung. Tahun 2013 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 4 Bandung kemudian melanjutkan studi di Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS. Dan pada bulan Juli 2017, penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “ESTIMASI RADIASI MATAHARI PER JAM PADA PERMUKAAN HORIZONTAL DENGAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS) (STUDI KASUS DI SURABAYA)”. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi dapat menghubungi penulis melalui email [isnanabdurrahman354@gmail.com](mailto:isnanabdurrahman354@gmail.com).

